



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Πτυχιακή εργασία

με θέμα

*Μελέτη Βιολογικών Επιδράσεων
της Σχετιζόμενης με τα Κινητά Τηλέφωνα
Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας*

από τον **Ιωάννη Σκλαβούνο**.

*Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Δρ. **Ιωάννη Βαρδιάμπαση**
στα πλαίσια του “ΕΠΕΑΕΚ II – Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ –
Μελέτη-Σχεδίαση ευφώνων κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική
ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)”*

Χανιά, Ιανουάριος 2005



ABSTRACT

In this thesis we do an examination for the probability that cell phones and other types of hand held transceivers are a cause of cancer. In the beginning, we do a retrospection in the telecommunications and especially in the mobile communications. We describe the operation and the architecture of cellular systems of mobile communications and we report some forms of modulation and how these are applied in the systems of mobile communications. Then we continue with an extensive review of the electromagnetic radiation, reminding certain basic significances and units of measurement of the electromagnetic field and reporting the biological effects of the electromagnetic radiation in the human organism, the typical exposure levels and we give characteristic examples of the electromagnetic radiation that we receive in our daily life from various sources, such as the radar's aeriels, the appliances, the network of distribution and use of electric current and the mobile telephony. In the next chapter we review the existing epidemiological studies of RF radiation, the long-term animal exposure studies with RF radiation and studies about the possible genotoxic potential of RF radiation. Finally we complete this research presenting in the fourth chapter certain reports and publications that were presented in the Internet for an association between the mobile telephones and cancer.

This work was done at the **Microwave Communications and Electromagnetic Applications Lab** of T.E.I. of Crete and supported by the Greek Ministry of National Education and Religious Affairs and the European Union under the ΕΠΕΑΕΚ II – Archimedes – **Support of Research Groups in T.E.I. of Crete project “Smart antenna study & design using techniques of computational electromagnetics and pilot development & operation of a digital audio broadcasting station at Chania of Crete (SMART-DAB)”**.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακή μου εργασίας, ύστερα από πολύ προσπάθεια και κόπο, θέλω να πιστεύω ότι προσθέτω ένα λιθαράκι στις γνώσεις μας γύρω από την πιθανότητα προκλήσεως καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό από την χρήση κινητών τηλεφώνων.

Στην προσπάθεια μου αυτή δεν ήμουν μόνος. Δίπλα μου στάθηκε, στοργικός δάσκαλος, ο επιβλέπων καθηγητής μου κ. Ιωάννης Βαρδιάμπασης. Οι ιδέες και οι γνώσεις του, αλλά κυρίως ο ενθουσιασμός του, η ενθάρρυνση και η ανθρώπινη ζεστασιά του αποτέλεσαν για μένα το σοβαρότερο κίνητρο να ασχοληθώ και να φέρω σε πέρας την εργασία μου αυτή. Ολόθερμα τον ευχαριστώ, ευχόμενος έτη πολλά και έργα καλά.

Ευχαριστίες οφείλονται και στους καθηγητές μου στο Τμήμα Ηλεκτρονικής, που ως πνευματικοί πατέρες με ξενάγησαν στους αγλαούς χώρους της επιστημονικής έρευνας και γνώσης. Στο σημείο αυτό δεν μπορώ να παραλείψω και τους δασκάλους και καθηγητές μου, που στάθηκαν δίπλα μου στα πρώτα πνευματικά μου βήματα και στις πρώτες υπαρξιακές μου ανησυχίες.

Τέλος ευχαριστίες οφείλονται στους γονείς μου, που μου χάρισαν τα πάντα για το ζην μου και συνέβαλλαν τα μέγιστα, μαζί με τους πνευματικούς μου γονείς, για το ευ ζην.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικής Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ – Μελέτη-σχεδίαση ευφών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)” που συγχρηματοδοείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας & Θρησκευμάτων μέσω του ΕΠΕΑΕΚ II.

Σκλαβούνος Ιωάννης
Χανιά, Ιανουάριος 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα η τεχνολογική ανάπτυξη θέτει στην υπηρεσία του ανθρώπου ολοένα και περισσότερα αγαθά και η ζωή του έχει γίνει σαφώς καλύτερη και πλέον άνετη από το χτες. Όμως καλείται ο άνθρωπος να πληρώσει, πολλές φορές ακριβά το τίμημα της άνετης και τεχνολογικά προηγμένης ζωής του και να αναρωτηθεί αν πολλές φορές αξίζει τον κόπο η πληρωμή του τιμήματος αυτού στο όνομα μιας οποιασδήποτε τεχνολογικής ευκολίας. Και εδώ τίθεται το αμείλικτο ερώτημα, που όσες φορές ο άνθρωπος προσπάθησε να αγνοήσει ή να αποφύγει, η απάντηση ήταν σκληρή, αν και πόσο μπορεί να προχωρεί, πολλές φορές εναντίον της φύσης, υπονομεύοντας το μέλλον των παιδιών του.

Κάτω από αυτές τις προφανείς ευαισθησίες που πρέπει, τώρα πλέον, κάθε άνθρωπο να διακατέχει, με αίσθημα ευθύνης και επιστημονική δεοντολογία ασχολούμαστε στην παρούσα μελέτη μας με τις πιθανότητες πρόκλησης καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό από την χρήση κινητών τηλεφώνων.

Εκκινώντας λοιπόν, κάνουμε μια αναδρομή στις τηλεπικοινωνίες και ειδικότερα στις κινητές επικοινωνίες. Περιγράφουμε την λειτουργία και την αρχιτεκτονική των κυψελωτών συστημάτων των κινητών επικοινωνιών και αναφέρουμε τις γενικές αρχές πολυπλεξίας και πως αυτές εφαρμόζονται στα συστήματα των κινητών επικοινωνιών.

Στην συνέχεια γίνεται μια εκτενής αναφορά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Υπενθυμίζουμε κάποια βασικές έννοιες και μονάδες μέτρησης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, αναφέρουμε περιληπτικά τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό, τα όρια επικινδυνότητας και δίνουμε κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικής επιβάρυνσης που δεχόμαστε στην καθημερινή μας ζωή από διάφορες πηγές, όπως τις κεραιές ραντάρ, τις οικιακές συσκευές, το δίκτυο διανομής και χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος και την κινητή τηλεφωνία.

Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθούν κάποιες μελέτες που έχουν γίνει για να δώσουν απάντηση στο ερώτημα που μας απασχολεί τα τελευταία χρόνια, λόγω της ευρείας χρήσης των κινητών τηλεφώνων στην καθημερινή μας ζωή. Γίνεται αναφορά λοιπόν σε επιδημιολογικές μελέτες, σε μελέτες γονοτοξικής πιθανότητας της ακτινοβολίας και σε μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης ζώων σε ακτινοβολία RF.

Τέλος ολοκληρώνουμε την έρευνα αυτή παρουσιάζοντας στο τέταρτο κεφάλαιο κάποιες αναφορές και δημοσιεύματα που παρουσιάστηκαν στο διαδίκτυο σχετικά με την ενοχοποίηση ή όχι των κινητών τηλεφώνων.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικής Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ – Μελέτη-σχεδίαση ευφώνων κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)” που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας & Θρησκευμάτων μέσω του ΕΠΕΑΕΚ II.

ABSTRACT

In this thesis we do an examination for the probability that cell phones and other types of hand held transceivers are a cause of cancer. In the beginning, we do a retrospection in the telecommunications and especially in the mobile communications. We describe the operation and the architecture of cellular systems of mobile communications and we report some forms of modulation and how these are applied in the systems of mobile communications. Then we continue with an extensive review of the electromagnetic radiation, reminding certain basic significances and units of measurement of the electromagnetic field and reporting the biological effects of the electromagnetic radiation in the human organism, the typical exposure levels and we give characteristic examples of the electromagnetic radiation that we receive in our daily life from various sources, such as the radar's aerials, the appliances, the network of distribution and use of electric current and the mobile telephony. In the next chapter we review the existing epidemiological studies of RF radiation, the long-term animal exposure studies with RF radiation and studies about the possible genotoxic potential of RF radiation. Finally we complete this research presenting in the fourth chapter certain reports and publications that were presented in the Internet for an association between the mobile telephones and cancer.

This work was done at the **Microwave Communications and Electromagnetic Applications Lab** of T.E.I. of Crete and supported by the Greek Ministry of National Education and Religious Affairs and the European Union under the ΕΠΕΑΕΚ II – Archimedes – **Support of Research Groups in T.E.I. of Crete project “Smart antenna study & design using techniques of computational electromagnetics and pilot development & operation of a digital audio broadcasting station at Chania of Crete (SMART-DAB)”**.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	9
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	10
ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	17
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	17
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	22
ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	34
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΜΕΓΕΘΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	35
ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	38
ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	43
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	46
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΚΕΡΑΙΕΣ ΡΑΝΤΑΡ.....	47
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ.....	48
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΛΕΤΕΣ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	55
ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ RF.....	56
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΓΟΝΟΤΟΞΙΚΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ RF.....	62
ΜΕΛΕΤΕΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΖΩΩΝ ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ RF.....	66
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΑ ΑΡΘΡΑ	
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΘΩΩΝΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ.....	74
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΝΟΧΟΠΟΙΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ.....	78
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι τα κινητά τηλέφωνα ασφαλή;

Η έρευνα για να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα επεκτείνεται καθώς αυξάνεται η ανησυχία του κοινού για ένα από τα αγαπημένα εργαλεία επικοινωνίας του. Κάποιοι επιστήμονες έχουν εκφράσει φόβους για κάποιο πιθανό κίνδυνο, ότι δηλαδή η χρήση και μόνο των κινητών τηλεφώνων μπορεί να βλάψει την υγεία του χρήστη, ίσως και να προκαλέσει καρκίνο.

Υπάρχουν σοβαροί λόγοι να ανησυχούμε. Η ευρεία χρήση των κινητών τηλεφώνων, σημαίνει ότι πολλοί άνθρωποι συνηθίζουν να βάζουν πομπούς RF δίπλα στο κεφάλι τους. Το γεγονός αυτό από μόνο του θα μπορούσε να προκαλέσει την εξέταση της ασφάλειας ή όχι αυτής της μορφής ενέργειας.

Η ανησυχία για την πιθανότητα των άσχημων επιδράσεων των κινητών τηλεφώνων για την υγεία εμφανίστηκε στα μέσα του 1992 σε ένα αμερικάνικο δικαστήριο. Μία δικογραφία που συντάχθηκε στην Φλόριδα από τον David Reynard υποστήριζε ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου είχε προκαλέσει τον θανάσιμο όγκο του εγκεφάλου της γυναίκας του. Η κατηγορία αναιρέθηκε από ένα ομοσπονδιακό δικαστήριο το 1995 εξαιτίας έλλειψης έγκυρων επιστημονικών αποδείξεων και παρόμοιες δίκες δεν ήταν περισσότερο επιτυχείς. Δημιουργήθηκαν όμως ερωτήματα για τα οποία δεν υπήρχαν εντελώς ικανοποιητικές απαντήσεις. Ένα νέο κύμα ερευνών στις ΗΠΑ αλλά και σε άλλες χώρες, καθοδηγούμενο εν μέρει από αυτές τις ενοχλητικές κατηγορίες, εξερευνεί πιθανές σχέσεις μεταξύ της ακτινοβολίας των κινητών τηλεφώνων και του καρκίνου. Ο καρκίνος του εγκεφάλου δεν είναι η μόνη ανησυχία για την υγεία, αλλά είναι το κύριο θέμα στις δημόσιες συζητήσεις. Σήμερα, σχεδόν 12 χρόνια μετά την υπόθεση Reynard, υπάρχει ένας σημαντικός όγκος σχετικών επιστημονικών στοιχείων.

Πεδία και συχνότητες

Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών λειτουργούν σε αρκετές συχνότητες στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Στις ΗΠΑ, τα κινητά τηλέφωνα λειτουργούν σε δύο βασικές περιοχές συχνοτήτων, τα παλαιότερα συστήματα γύρω στα 850 MHz και τα νεότερα κοντά στα 1.900 MHz. Τα ευρωπαϊκά κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν τα συστήματα GSM και DCS, μια διαφορετική τεχνολογία από ότι τα περισσότερα αμερικάνικα τηλέφωνα και λειτουργούν σε λίγο διαφορετικές συχνότητες, κοντά στα 900 MHz και 1.800 MHz αντίστοιχα. Πολλές άλλες εφαρμογές εκπέμπουν ενέργεια σε κοντινές ζώνες συχνοτήτων.

Η ακτινοβολία σε αυτή την ζώνη συχνοτήτων καλείται μη ιονίζουσα διότι η ενέργεια των φωτονίων είναι ανεπαρκής για να διώξει ηλεκτρόνια από άτομα σε ζωντανούς ιστούς, μια πηγή σοβαρής βιολογικής βλάβης από ακτινοβολία όπως οι ακτίνες X. Τα πιο προφανή βιολογικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας RF στις συχνότητες των κινητών τηλεφώνων είναι εξ' αιτίας της θερμότητας. Έχουν επιδειχθεί πολλοί μηχανισμοί που δεν οφείλονται στη θερμότητα, αλλά βρέθηκε ότι

αυτοί που κατανοήθηκαν αρκετά για να αναλυθούν ποσοτικά, παράγουν αισθητά αποτελέσματα μόνο σε πολύ υψηλά επίπεδα έκθεσης.

Τα μέτρα έκθεσης στις ΗΠΑ και τις περισσότερες δυτικές χώρες έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύσουν από όλους τους αναγνωρισμένους κινδύνους της ακτινοβολίας RF. Επί του παρόντος, αυτά σχετίζονται μόνο με υπερβολική θέρμανση του ιστού, που είναι μάλλον ένα απίθανο πρόβλημα για τα κινητά χαμηλής ισχύος. Τα αναλογικά τηλέφωνα ακτινοβολούν 600 mW ή και λιγότερο κατά μέσο όρο και πολλά ψηφιακά μοντέλα παράγουν 125 mW. Όμως, η έξοδος των περισσότερων καινούργιων τηλεφώνων ελέγχεται δυναμικά από τον σταθμό βάσης. Η συσκευή ρυθμίζει συνεχώς την ισχύ της για να παρέχει το ελάχιστο σήμα που χρειάζεται για να επικοινωνήσει ικανοποιητικά με τον σταθμό βάσης.

Παλιές και νέες μελέτες

Από τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο έχει υπάρξει μια τεράστια προσπάθεια για έρευνα πάνω στα βιολογικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας RF, σχεδόν όλες από αυτές ήταν χρηματοδοτούμενες από τις κυβερνήσεις. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έρευνας έχει συμπεριλάβει πεδία με συχνότητες από 915 MHz έως 2450 MHz, δηλαδή κοντά στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τα κινητά τηλέφωνα. Όμως, παρόλες τις πρόωρες δηλώσεις των κατασκευαστών κινητών τηλεφώνων, λίγες έρευνες δείχνουν ότι τα κινητά τηλέφωνα είναι ασφαλή. Λίγες από τις μελέτες για το αν η έκθεση σε ακτινοβολία RF είναι επικίνδυνη στο ζωικό ιστό έχουν συμπεριλάβει και τοξικολογικές εργασίες, ότι δηλαδή θα έκανε μια χημική ή φαρμακευτική εταιρεία για να πάρει έγκριση για ένα νέο προϊόν. Επιπρόσθετα, λίγες έρευνες ασχολούνται συγκεκριμένα με την ενέργεια διαμορφωμένη από παλμούς, όπως μεταδίδεται από τα ψηφιακά τηλέφωνα νέας γενιάς ή με συνθήκες έκθεσης παρόμοιες με αυτές που δημιουργούνται από τα κινητά τηλέφωνα.

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας είναι αντιφατικό σε πολλά σημεία. Συμπεριλαμβάνει πολλές αναφορές βιολογικών επιπτώσεων των πεδίων RF σε κύτταρα και ζώα, πολλές φορές σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης, που είναι δυσνόητα και συχνά δεν μπορούν να επαληθευτούν. Συμπεριλαμβάνει επίσης λίγες αναφορές στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από έκθεση σε πεδία RF χαμηλής ισχύος. Οι επιτροπές που θέτουν τα πρότυπα, παρόλο που αναγνωρίζουν αυτές τις έρευνες, έχουν αποφανθεί ότι παρέχουν ανεπαρκή βάση για θέσπιση ορίων έκθεσης. Παρακινούμενη από την δίκη Reynard και την δημοσιότητα της, ένας νέος κύκλος ερευνών άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 90, χρηματοδοτούμενος κατά μεγάλο βαθμό από τους ίδιους τους κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων και ήταν επικεντρωμένος κυρίως στην καρκινογένεση εξαιτίας των κινητών τηλεφώνων. Μια αξιοσημείωτη προσπάθεια ήταν το πρόγραμμα Έρευνας Ασύρματης Τεχνολογίας (WTR) που πραγματοποιήθηκε στην Ουάσιγκτον και κόστισε 27 εκατομμύρια δολάρια. Χρηματοδοτήθηκε κυρίως από αμερικανούς κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων αλλά λειτούργησε κυρίως από τη βιομηχανία. Αυτή η προσπάθεια τελείωσε στο τέλος του 1999 με καμιά επίσημη ανακοίνωση και μόνο λίγες μελέτες να έχουν εκδοθεί, μερικές από τις οποίες συζητούνται παρακάτω. Πολλά άλλα ερευνητικά προγράμματα σε άλλες χώρες βρίσκονται σε εξέλιξη χρηματοδοτούμενα είτε από την βιομηχανία είτε από την κυβέρνηση. Μια σύνοψη του θέματος, που παρουσιάστηκε στην Σικελία το Νοέμβριο του 1999 ανέφερε πάνω από 200

συνεχιζόμενες και πρόσφατα ολοκληρωμένες μελέτες σχετικές με πιθανούς κινδύνους για την υγεία από την ακτινοβολία RF.

Ψάχνοντας για ένα σύνδεσμο

Η αναγνώριση σχέσης μεταξύ καρκίνου και περιβαλλοντολογικής έκθεσης οποιασδήποτε μορφής είναι απρόσμενα δύσκολη, εξαιτίας της απουσίας μιας και μόνο αιτίας καρκίνου αλλά και για άλλους ακόμα λόγους. Ακόμα και αν τα κινητά δεν είχαν καμία σχέση με τον καρκίνο, χιλιάδες χρήστες θα εμφάνιζαν καρκίνο του εγκεφάλου κάθε χρόνο, δεδομένων των εκατομμυρίων χρηστών κινητών τηλεφώνων ανά τον κόσμο και δεδομένου αυτού που ονομάζεται ποσοστό υποβάθρου του εγκεφαλικού καρκίνου. Στις ΗΠΑ χτυπά περίπου τους 6 από τους 100.000 ανθρώπους κάθε χρόνο. Η αναγνώριση επίδρασης των κινητών τηλεφώνων σε αυτό το υπόβαθρο ασθενείας απαιτεί προσεκτικά σχεδιασμένες μελέτες.

Όταν μελετάμε ύποπτα καρκινογνήματα, οι φορείς υγείας βασίζονται κυρίως σε δύο είδη μελετών: επιδημιολογικές μελέτες, που περιλαμβάνουν στατιστική ανάλυση αρχείων υγείας και προκαθορισμένες εξετάσεις πάνω σε ζώα. Σε κανένα από τα δύο είδη δεν υποστηρίζουν τα πρόσφατα στοιχεία κάποια σχέση μεταξύ κινητών τηλεφώνων και καρκίνου του εγκεφάλου.

Το 1996, στη πρώτη μελέτη μετά τις κατηγορίες της δίκης Reynard για καρκίνο του εγκεφάλου, αναλύθηκαν οι φάκελοι υγείας περισσότερων από 250.000 χρηστών κινητών τηλεφώνων από τον Kenneth Rothman, έναν επίκουρο επιδημιολόγο στο Ινστιτούτο Επιδημιολογικής Έρευνας στο Newton Lower Falls. Αυτή η μελέτη, χρηματοδοτούμενη από το βιομηχανικό πρόγραμμα WTR, δεν έδειξε καμιά διαφορά στην θνησιμότητα μεταξύ χρηστών φορητών τηλεφώνων, όπου η κεραία βρίσκεται κοντά στο κεφάλι και κινητών τηλεφώνων όπου η κεραία βρίσκεται στο όχημα που υπάρχει μικρότερη εκπομπή ακτινοβολίας RF. Σε μία μετέπειτα έρευνα, οι ίδιοι ερευνητές μελέτησαν τις αιτίες θανάτου περίπου 300.000 χρηστών κινητών, συμπεριλαμβανομένων μερικών από την προηγούμενη μελέτη, σε αρκετές πόλεις των ΗΠΑ. Όπως ανέφεραν οι ερευνητές το Νοέμβριο του 1999 στην ημερίδα της Αμερικάνικης Ιατρικής Ένωσης η μόνη κατηγορία αιτίας θανάτου για την οποία υπάρχουν ενδείξεις αυξημένου κινδύνου όσο αυξάνεται η χρήση ήταν τα τροχαία ατυχήματα.

Άλλες επιδημιολογικές μελέτες ήταν σχεδόν ή εντελώς αρνητικές. Σε μία έρευνα που είχε εκτενή δημοσιογραφική κάλυψη πριν καν εκδοθεί, ο Lennard Hardell και οι συνεργάτες του στο Ιατρικό Κέντρο Orebro, στη Σουηδία, αξιολόγησαν την χρήση κινητών τηλεφώνων 209 Σουηδών ασθενών που έπασχαν από όγκο του εγκεφάλου, σε σύγκριση με 425 υγιείς ανθρώπους. Η μελέτη, χρηματοδοτούμενη από το Σουηδικό Ιατρικό Ερευνητικό Συμβούλιο, ήταν αρνητική σε όλες τις απόψεις.

Δημοσιεύοντας την μελέτη, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης επικεντρώθηκαν σε ένα εύρημα: οι χρήστες κινητών τηλεφώνων που είχαν αναπτύξει συγκεκριμένους τύπους όγκου του εγκεφάλου, ήταν πιο πιθανό να αναφέρουν ότι χρησιμοποιούσαν το τηλέφωνο στην πλευρά του κεφαλιού με τον όγκο, παρά στην άλλη πλευρά, αλλά ο συσχετισμός ήταν ασθενής. Δεν ήταν στατιστικά σημαντικός και μπορούσε εύκολα να ήταν αποτέλεσμα προκατάληψης, μια καθιερωμένη τάση των ασθενών να θυμούνται εκθέσεις σε κάτι πιο εύκολα, όταν εμφάνιζαν κάποια ασθένεια. Οι ασθενείς με καρκίνο του

εγκεφάλου, που πήραν μέρος στην έρευνα του Hardell, ήξεραν την διάγνωση τους πριν ερωτηθούν για τη χρήση των κινητών.

Ο καρκίνος του εγκεφάλου χρειάζεται χρόνια ή δεκαετίες για να αναπτυχθεί και αυτές οι μελέτες δεν αναφέρουν τίποτα για μελλοντικούς κινδύνους. Το να ανιχνεύουμε μικρούς ή μακροχρόνιους κινδύνους για καρκίνο δεν είναι εύκολο. Για να ανιχνεύσουμε μικρές αυξήσεις στον κίνδυνο θα απαιτούσε μεγάλες μελέτες που είναι δύσκολο να ελέγξουμε και συνήθως είναι αμφισβητήσιμες στην ερμηνεία τους. Οποιαδήποτε έγκυρη μελέτη θα έπρεπε επίσης να εκτιμήσει την χρήση του κινητού τηλεφώνου κάποιου για μία δεκαετία ή παραπάνω, μια πολύπλοκη αξιολόγηση εξαιτίας της γρήγορης τεχνολογικής εξέλιξης σε αυτή την βιομηχανία.

Απαντήσεις από μελέτες σε ζώα

Μία άλλη κύρια πηγή πληροφόρησης που χρησιμοποιείται για τη αξιολόγηση κινδύνων για καρκίνο είναι οι μελέτες που έγιναν σε ζώα. Οι μελέτες αυτές επίσης δεν υποστηρίζουν κάποια σχέση μεταξύ κινητών τηλεφώνων και καρκίνου. Η έκθεση αρουραίων σε διαμορφωμένη κατά παλμούς ακτινοβολία RF στους 837 MHz, παρόμοια με τη ενέργεια που εκπέμπονται από ψηφιακά κινητά τηλέφωνα, δεν προκαλεί ή προάγει καρκίνο του εγκεφάλου. Αυτό ήταν το εύρημα μιας έρευνας χρηματοδοτούμενης από την Motorola που σχεδιάστηκε ειδικά για να εξετάσει για καρκίνο του εγκεφάλου. Τον Απρίλιο του 2000, ο Adey ανέφερε το ίδιο εύρημα για συνεχές RF κύμα, όπως αυτό που εκπέμπεται από αναλογικά κινητά τηλέφωνα. Και σε μια αναφορά συνεδρίου το 1999, ο Bernard Zook του George Washington University στην Ουάσιγκτον, επαλήθευσε όλα τα ευρήματα του Adey. Οι άλλες έρευνες δεν ήταν εστιασμένες στον καρκίνο του εγκεφάλου, αλλά αξιολόγησαν τα ζώα για την ασθένεια και δεν είχαν προσέξει αν είχε παρουσιαστεί αύξηση αυτής της ασθένειας.

Οι έρευνες ζώων, παρόλο που είναι πιο εύκολες να ελεγχθούν από ότι οι επιδημιολογικές μελέτες, έχουν αβέβαιη σχέση με την ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα, ο πρώην πρόεδρος του WTR George Carlo έδειξε στο IEEE Spectrum ότι καμία από τις μελέτες ζώων μέχρι σήμερα δεν έχει μιμηθεί αρκετά την έκθεση του χρήστη ενός κινητού τηλεφώνου μόνο στο κεφάλι. Αντίθετα τα ζώα εκτίθενται σε ακτινοβολία σε όλο τους το σώμα. Ένα επιχείρημα είναι ότι η έκθεση ολόκληρου του σώματος είναι πιο πιθανόν να παράγει τοξικά αποτελέσματα από ότι η έκθεση μέρους του σώματος. Θέματα τέτοια φύσης σχετίζονται με επαγγελματικές κρίσεις για τις οποίες οι εμπειρογνώμονες συχνά διαφωνούν.

Ξεπερνώντας τα όρια

Το ενδιαφέρον για τα αποτελέσματα πάνω στην υγεία των χρηστών των κινητών τηλεφώνων έχει ενισχύσει την λεπτομερή εξέταση της έκθεσης σε ακτινοβολία RF στις ΗΠΑ. Η επιτροπή FCC περιορίζει την μέγιστη έκθεση σε 1.6W/Kg ιστού κατά μέσο όρο ανά γραμμάριο ιστού. Τα ευρωπαϊκά όρια είναι λιγότερο περιοριστικά, καθορίζοντας 1.6W/Kg για κάθε 10 γραμμάρια.

Οι συσκευές κινητών τηλεφώνων λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα ισχύος, αλλά η κεραία, που εκπέμπει περίπου 600mW για ένα αναλογικό κινητό τηλέφωνο και 125mW για ένα ψηφιακό,

τοποθετείται πολύ κοντά στο κεφάλι, κάτι που μπορεί να ανεβάσει τα όρια έκθεσης κοντά στα όρια των κανονισμών. Ένας πολύπλοκος παράγοντας είναι ότι η έκθεση εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από την ακριβή θέση της συσκευής σε σχέση με το κεφάλι, το ακριβές σχήμα και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κεφαλιού. Επιπλέον, η έκθεση δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας πάνω στο κεφάλι του χρήστη, αλλά πρέπει να εκτιμηθεί από μοντέλα σε υπολογιστή ή από μετρήσεις σε δεξαμενές υγρών στο σχήμα του κεφαλιού.

Οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν την έκθεση διαμορφώνοντας το σχήμα της συσκευής μέχρι ενός σημείου. Σημαντικές μειώσεις στην ισχύ δημιουργούν την ανάγκη για σταθμούς βάσης τοποθετημένους πιο κοντά μεταξύ τους, κάτι που δεν είναι επιθυμητό από τους κατοίκους πολλών περιοχών. Η μετακίνηση κεραιών και άλλων κυκλωμάτων πιο μακριά από το κεφάλι των χρηστών μπορεί να μεγεθύνει την συσκευή, κάτι που θα λειτουργούσε αντίθετα στις απαιτήσεις των καταναλωτών για μικρά τηλέφωνα.

Βιομηχανικοί και ακαδημαϊκοί μελετητές έχουν αναφέρει στοιχεία που δείχνουν ότι τα κινητά τηλέφωνα της αγοράς ικανοποιούν κατά πολύ τα όρια των κανονισμών. Παρόλα αυτά έχουν υπάρξει κάποιες εξαιρέσεις. Το 1998, η FCC ανακοίνωσε ότι η SONY έπρεπε να αποσύρει από την αγορά 60000 κινητά τηλέφωνα που υπέρβαιναν τα όρια έκθεσης των κανονισμών της FCC.

Η αντιγνωμία συνεχίζεται

Παραμένουν αρκετές περιπτώσεις φιλονικίας. Για παράδειγμα, σε μια μελέτη του 1995 που είχε ευρεία κάλυψη από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, ο Henry Lai και οι συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Ουάσινγκτον στο Σιάτλ ανέφεραν ότι εξέθεσαν αρουραίους σε ακτινοβολία RF με μέσο όρο έκθεσης πλήρους σώματος 1 W/Kg. Το αποτέλεσμα ήταν διάσπαση του DNA των εγκεφαλικών κυττάρων, μια ένδειξη πιθανών αποτελεσμάτων καρκίνου. Αλλά πιο πρόσφατες μελέτες έχουν εκφέρει αμφιβολίες για αυτό το εύρημα. Προσπάθειες για να επαληθεύσουν τα αποτελέσματα του Lai, από μια ομάδα χρηματοδοτούμενη από την Motorola και αρχηγό τον Roti Roti στο Πανεπιστήμιο του Ουάσινγκτον, ήταν ανεπιτυχής. Μια Βελγική ομάδα χρηματοδοτούμενη από την κυβέρνηση και καθοδηγούμενη από τον Luc Vershaeve αναφέρει ότι παρόμοια έκθεση σε αρουραίους δεν προκαλεί διάσπαση δεσμών DNA σε άλλους τύπους κυττάρων. Επιπλέον η ομάδα του πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον ανακάλυψε ένα σφάλμα που μπορεί να φταίει για τα θετικά αποτελέσματα του Lai. Παρόλα αυτά ο Lai συνεχίζει να υποστηρίζει τις αρχικές του μελέτες.

Τα επιστημονικά δεδομένα μπορούν να προκαλέσουν αντιγνωμίες στο κοινό πριν καν εκδοθούν, πόσο μάλλον αφού αλλοιωθούν από φορείς υγείας. Παραδείγματος χάριν η πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη του Joshua Muscat, ο οποίος είναι ερευνητικός επιστήμονας στην Ένωση Αμερικανικής Υγείας στην Νέα Υόρκη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης χρηματοδοτούμενης από το WTR, παρουσιάστηκαν σε ένα επιστημονικό συνέδριο τον Ιούνιο του 1999, αλλά δεν έχουν δημοσιευτεί μέχρι τώρα. Σε μια συνέντευξη στην καναδική τηλεόραση 4 μήνες αργότερα, ο πρώην αρχηγός του WTR Carlo αναφερόμενος στην μελέτη του Muscat, είπε ότι αυτοί που χρησιμοποιούν ασύρματα τηλέφωνα έχουν υψηλότερες πιθανότητες να πεθάνουν από καρκίνο του εγκεφάλου και υπέδειξε κάποιες

στατιστικά σημαντικές αυξήσεις σε κάποιες σπάνιες υποκατηγορίες της ασθένειας. Τα συμπεράσματα του ίδιου του Muscat, ήταν πιο προσεχτικά. Σε ένα απόσπασμα από δημοσίευση συνεδρίου, έγραψε ότι η μελέτη του δεν βρήκε αποδείξεις ότι η χρήση κινητών τηλεφώνων αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου του εγκεφάλου, παρόλο που παραμένει κάποια αμφιβολία για το πώς πρέπει να ερμηνευτεί η προφανής αύξηση κάποιου τύπου καρκίνου του εγκεφάλου. Ο Muscat είπε στο IEEE Spectrum ότι η έρευνα του έχει υποβληθεί για δημοσίευση. Μέχρι να δημοσιευτεί, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να επαληθευτούν.

Τα επιδημιολογικά αποτελέσματα μέχρι στιγμής τουλάχιστον είναι ασυνεπή με κάποια μεγάλη αύξηση του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του εγκεφάλου από την χρήση κινητών τηλεφώνων. Ούτε οι μελέτες ζώων δείχνουν καθαρά καρκινογενείς επιπτώσεις. Όμως, οι επιδημιολογικές μελέτες δεν έχουν την απαιτούμενη ευαισθησία να ανιχνεύουν μικρές αυξήσεις στον κίνδυνο και η σχέση των μελετών των ζώων στην ανθρώπινη υγεία είναι αβέβαιη.

Σε ένα έγγραφο που εμφανίστηκε στο διαδίκτυο το Φεβρουάριο του 2000, οι Αμερικάνικες Αρχές Φαγητού και Φαρμάκων δήλωσαν ότι υπάρχει πολύ μικρή επιστημονική βάση για να αποφανθούμε ότι είτε οι ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας είναι ασφαλείς, είτε αποτελούν έναν κίνδυνο για εκατομμύρια χρήστες.

Οι οργανισμοί υγείας αποφεύγουν να πουν ότι οι τεχνολογίες είναι ασφαλείς, αλλά αντίθετα αξιολογούν αποδείξεις για πιθανούς κινδύνους. Για παράδειγμα, Διεθνής Φορέας για έρευνα πάνω στον καρκίνο (IARC) στην Λυών, έχει λάβει περίπου 8 εκατομμύρια ευρώ από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για μια μεγάλη επιδημιολογική μελέτη των κινητών τηλεφώνων σε σχέση με καρκίνο του εγκεφάλου και του λαιμού. Δέκα χώρες θα συμμετάσχουν στην έρευνα, που όπως προβλέπεται θα περιλάβει 1.500 περιπτώσεις και 1.500 ελέγχους υγείας. Η έρευνα είναι σε πιλοτική λειτουργία και αναμένεται να ολοκληρωθεί σε 3 χρόνια. Αλλά ακόμη και με εκτενή στοιχεία, η IARC σχεδόν ποτέ δεν αναφέρει ότι ένας παράγοντας είναι μη καρκινογενής και έτσι είναι απίθανο να το κάνει με την ακτινοβολία RF.

Σε αντίθεση, οι κατασκευαστές των κινητών τηλεφώνων πρέπει να δείξουν όχι ότι τα προϊόντα τους είναι ασφαλή, αλλά ότι είναι μέσα στα προβλεπόμενα όρια, ένα εντελώς διαφορετικό θέμα. Οι προδιαγραφές που θέτουν τα όρια έκθεσης σε ενέργεια αναπτύχθηκαν κατά κύριο λόγο σε δεδομένα έκθεσης ολόκληρου του σώματος και μηχανικών μελετών.

Περισσότερη έρευνα χρειάζεται προφανώς στις βιολογικές και βιοφυσικές επιδράσεις της έκθεσης κοντινού πεδίου. Ένα καλύτερα ορισμένο κατώφλι για κίνδυνο μπορεί ακόμα και να οδηγήσει σε χαλαρά όρια έκθεσης για φορητές συσκευές. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας γίνεται έξω από τις ΗΠΑ. Ο Michael Repacholi, διευθυντής ενός προγράμματος για τις επιδράσεις στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία στον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στην Γενεύη, υπολογίζει ότι έχουν διατεθεί περίπου 100 εκατομμύρια δολάρια σε έρευνες για τους πιθανούς κινδύνους από τα κινητά τηλέφωνα, πολύ λίγες από τις οποίες γίνονται στις ΗΠΑ. Αλλά η Αμερικάνικη βιομηχανία και η κυβέρνηση δεν τα έχουν παρατήσει. Τον Ιούνιο του 2000, η Ένωση Βιομηχανιών Κινητών Τηλεφώνων (CTIA) και οι Αμερικανικές Αρχές Φαγητού και Φαρμάκων ανακοίνωσε μια συμφωνία, κάτω από την οποία η CTIA θα χρηματοδοτούσε ένα ερευνητικό πρόγραμμα 1 εκατομμυρίου δολαρίων πάνω στην

υγεία και τα κινητά τηλέφωνα. Αυτή η χρηματοδότηση είναι πολύ μικρή συγκριτικά με τα τεράστια έξοδα των τοξικολογικών και επιδημιολογικών μελετών. Είναι μόνο αρκετή για περιορισμένες μελέτες για να εξετασθούν θέματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα WTR.

Οποιοδήποτε και αν είναι το αποτέλεσμα της τελευταίας γενιάς των μελετών, η διαμάχη πάνω στις επιδράσεις υγείας των κινητών τηλεφώνων θα συνεχιστεί. Τα κινητά τηλέφωνα θα ενωθούν με άλλες μορφές ηλεκτρικής τεχνολογίας, όπως αστυνομικά ραντάρ, οθόνες τερματικών υπολογιστών και γραμμές μεταφοράς ενέργειας που έχουν προκαλέσει ανησυχία στο κοινό εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων τους. Το πώς να ανταποκριθούμε σωστά στις ανησυχίες του κοινού, αναγνωρίζοντας τους πιθανούς κινδύνους και αποφεύγοντας τις αντιγνώμεις, δεν είναι ένα επιστημονικό θέμα, αλλά ένα ερώτημα με βαθιές κοινωνικές πλευρές.

Σε μια προσπάθεια να βγει μπροστά από τις διαμάχες του κοινού η CTIA, επέβαλε στα μέλη της να περιλαμβάνουν πληροφορίες για το SAR στα καινούργια μοντέλα τηλεφώνων. Τα δεδομένα και κάποιες επεξηγηματικές πληροφορίες εμφανίζονται σε ένα φυλλάδιο μέσα στα κουτιά των καινούργιων τηλεφώνων, είπε ένας εκπρόσωπος της CTIA στο IEEE Spectrum. Τα δεδομένα SAR υπάρχουν ήδη στην ιστοσελίδα της FCC. Ακόμα και αν η πρωτοβουλία της CTIA κάνει πιο εύκολη την πρόσβαση σε δεδομένα SAR, είναι αβέβαιο πως οι καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες.

Εν τω μεταξύ, ένας χρήστης κινητού τηλεφώνου με ανησυχίες για την υγεία έχει απλές λύσεις να χρησιμοποιήσει εξωτερικό ακουστικό για να κρατήσει την συσκευή μακριά από το κεφάλι του, να ελαττώσει την χρήση του τηλεφώνου ή να αποφύγει την χρήση του τηλεφώνου σε περιοχές όπου το σήμα είναι ασθενές. Ένα ασθενές σήμα από τον σταθμό βάσης κάνει τα καινούργια τηλέφωνα να αυξάνουν την ισχύ εκπομπής. Βέβαια κανείς δε θα συνιστούσε τέτοια μέτρα για λόγους υγείας, αλλά ο κόσμος μπορεί να αποφασίσει από μόνος του αν θα πάρει τέτοιες προφυλάξεις [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι αρκετές φορές που ο άνθρωπος σκέφτεται με δέος την καταπληκτική ταχύτητα με την οποία η τεχνολογία μπαίνει στη ζωή του και επίσης το ρόλο που αυτή παίζει σε όλους σχεδόν τους τομείς της καθημερινής του ζωής. Ποιος θα μπορούσε να φανταστεί τη ζωή του χωρίς την τηλεόραση; Κι όμως πριν το 1967 τηλεόραση δεν υπήρχε στην Ελλάδα και μόλις το 1990 δημιουργήθηκε η ιδιωτική! Ποιος πάλι θα μπορούσε να φανταστεί τα περιοδικά, τις εφημερίδες ή τις ταινίες χωρίς τη σχεδόν ολοκληρωτική χρήση των υπολογιστών; Κι όμως πριν από 10 χρόνια λίγοι ήξεραν τι είναι αυτό το μηχάνημα ενώ σήμερα ακόμη και στα σχολεία υπάρχει πλέον σαν μάθημα.

Το κινητό τηλέφωνο είναι το τελευταίο παράδειγμα της σαρωτικής επέλασης της τεχνολογίας στην προσωπική και κοινωνική ζωή μας. Πριν 10 χρόνια ξεκίνησε η τεχνολογία αυτή να εφαρμόζεται στη χώρα μας και σήμερα πλέον υπάρχουν πολλοί που δεν διανοούνται την προσωπική ή την επαγγελματική τους ζωή χωρίς αυτό! Πραγματικά, η μαγική αυτή συσκευή έδωσε τη δυνατότητα της επικοινωνίας, σχεδόν παντού και πάντα, σε πολλές κατηγορίες επαγγελματιών και σε ανθρώπους που μετακινούνται συνεχώς στο δρόμο. Επίσης και πολλοί άλλοι το χρησιμοποιούν σαν μια εύκολη και γρήγορη λύση στις περιπτώσεις που ο ΟΤΕ δεν μπορεί να μας δώσει τη δυνατότητα της επικοινωνίας τη στιγμή που απαιτείται. Βέβαια, όπως κάθε νέα τεχνολογία έχει και τη δυνατότητα των κακών επιδράσεων, και δεν μιλάμε μόνο για την επίδειξη και την υπερβολή στη χρήση και την κατοχή των κινητών τηλεφώνων, που τα βλέπουμε να κουδουνίζουν ακόμη και μέσα στο σινεμά, στην εκκλησία ή στο σούπερ-μάρκετ. Εννοούμε την αλλαγή που οφείλεται στην κινητικότητα της συσκευής και έτσι το νούμερο του τηλεφώνου παύει να είναι χαρακτηριστικό της συσκευής και του τόπου που βρίσκεται αυτή και γίνεται χαρακτηριστικό του ατόμου που διαθέτει το νούμερο αυτό και γίνεται πλέον ένα με αυτό. Η χρήση επίσης στο αυτοκίνητο χωρίς τη εγκατάσταση του car-kit είναι άλλη μια αιτία προβλημάτων ή και ατυχημάτων ακόμα. Μια τρίτη παρενέργεια είναι ότι δεν μπορείς να κρυφτείς από ανεπιθύμητους και αυτοί δεν είναι μόνο οι τυχόν εχθροί μας, σε περίπτωση που έχουν το νούμερο σου. Εκτός των παραπάνω, σημαντική παρενέργεια μπορεί να θεωρηθεί και η αλόγιστη χρήση του κινητού και επομένως οι υψηλοί λογαριασμοί.

Ας μιλήσουμε όμως και για το τι είναι ακριβώς η κινητή τηλεφωνία. Στην Ελλάδα το 1993 δύο εταιρείες ανέλαβαν μετά από σχετικό διαγωνισμό να αναπτύξουν την τεχνολογία αυτή, χρησιμοποιώντας το σύστημα GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION) που ήδη εφαρμόζεται παγκοσμίως σε πάνω από 40 χώρες και αποτελεί την πιο σύγχρονη μορφή τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας. Το σύστημα αυτό δεν αποτελείται από καλώδια αλλά από ραδιοκυψέλες, που

κάθε μια καλύπτει μια περιοχή και δεν αναμεταδίδει τα μηνύματα σαν φωνή (αναλογικά), αλλά σαν αλγοριθμικά μηνύματα σε ένα σταθμό-βάση, ο οποίος συνδέεται με ένα κέντρο που διοχετεύει κατόπιν το μήνυμα με ανάλογο τρόπο εκεί που πρέπει.

ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Το πρόβλημα της επικοινωνίας αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο από τα πρώτα του βήματα πάνω στην γη. Η ανάγκη για την γρήγορη μεταφορά της πληροφορίας, οδήγησε τους προγόνους μας να σκαρφιστούν ποικίλες λύσεις. Φυσικά ο τομέας της επικοινωνίας υπήρξε ένας από τους τομείς με την γρηγορότερη εξέλιξη, ώστε να φτάσουμε στο τέλος του περασμένου αιώνα στην ενσύρματη τηλεφωνία.

Η πρώτη ιστορικά χρησιμοποίηση του ηλεκτρισμού για μεταβίβαση ήχων οφείλεται στο Γερμανό Philipp Reiss. Ο Philipp Reiss την 26-10-1861 απέδειξε με τη διάταξη που επινόησε ότι ήταν δυνατή με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρισμού η μετάδοση ήχων και λέξεων. Η διάταξη του Reiss ήταν πολύ ατελής. Έτσι με αυτήν, ήταν δυνατή η μετάδοση μερικών ήχων με υποτυπώδη τρόπο σε απόσταση 100 περίπου μέτρων. Ο Alexander Graham Bell την 14-2-1876 υπέβαλε στην Αμερικανική αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας για τεχνικά αποδεκτή τηλεφωνική συσκευή. Την ίδια μέρα (δύο ώρες αργότερα) σε άλλη πόλη της Αμερικής ο Elisha Gray υπέβαλε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας για άλλη τεχνικά αποδεκτή τηλεφωνική συσκευή. Ο Bell θεωρείται πατέρας της Τηλεφωνίας γιατί και προηγήθηκε έστω για λίγες ώρες του Gray και γιατί η συσκευή του ήταν καλύτερη. Το 1877 ο Hughes επινοεί το μικρόφωνο άνθρακα, πρόδρομο των σημερινών μικροφώνων. Το 1877 επίσης λειτούργησε στην Αμερική το πρώτο χειροκίνητο τηλεφωνικό κέντρο «τοπικής συστοιχίας» 100 συνδρομητών και ο Edison το 1878 επινόησε το επαγωγικό του πηνίο. Στο Λονδίνο το 1879 λειτούργησε επίσης χειροκίνητο κέντρο τοπικής συστοιχίας. Στην Ελλάδα το 1885 λειτούργησε το πρώτο χειροκίνητο κέντρο τοπικής συστοιχίας με 60 περίπου συνδρομητές. Ο Almon Strowger το 1889 επινόησε τον ομώνυμο επιλογέα του (επιλογέα Strowger). Ο Strowger θεωρείται ο πατέρας της αυτόματης τηλεφωνίας. Το 1892 λειτούργησε στη Βοστώνη της Αμερικής το πρώτο χειροκίνητο κέντρο κεντρικής συστοιχίας. Η μεγάλη πρόοδος της τηλεφωνίας οφείλεται στο ότι έγινε δυνατή σχεδόν από τα πρώτα της βήματα, η αυτοματοποίησή της. Έτσι το πρώτο αυτόματο τηλεφωνικό κέντρο λειτούργησε το 1892 στην Αμερική στο La Porte της Indiana. Η λειτουργία του κέντρου αυτού στηριζόταν στον επιλογέα Strowger.

Στην Αθήνα το 1911 λειτούργησε μεγάλο χειροκίνητο κέντρο τοπικής συστοιχίας. Το 1928 λειτούργησε στην Αθήνα χειροκίνητο κέντρο κεντρικής συστοιχίας χωρητικότητας 3.000 συνδρομητών που αντικατέστησε τα κέντρα τοπικής συστοιχίας. Ο Ελευθέριος Βενιζέλος το 1930 ίδρυσε την ΑΕΤΕ (Ανώνυμη Ελληνική Τηλεφωνική Εταιρία) με σύμβαση με την εταιρεία Siemens και συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος. Έτσι το 1931 λειτούργησαν στην Αθήνα τα δύο πρώτα αυτόματα Τηλεφωνικά Κέντρα. Στην Ελλάδα το 1940 υπήρχαν 45.000 συνδρομητές τηλεφώνου. Το 1949 ιδρύεται ο ΟΤΕ και διαδέχεται την ΑΕΤΕ. Τότε υπήρχαν σε όλη τη χώρα 63.000 συνδρομητές. Σήμερα ο ΟΤΕ

εγκαθιστά κάθε χρόνο άνω των 200.000 τηλεφωνικών συνδέσεων. Η αυτοματοποίηση της υπεραστικής τηλεφωνίας άρχισε στην Ελλάδα το 1965. Σήμερα έχει αυτοματοποιηθεί και η διεθνής τηλεφωνική επικοινωνία των περισσότερων χωρών του κόσμου. Έτσι η χώρα μας σήμερα συνδέεται με όλες τις χώρες του κόσμου.

Από τα αρχαία ακόμη χρόνια, υπάρχει οικονομική σχέση μεταξύ του εμπορίου και των μεταφορών από τη μια μεριά, και της ανταλλαγής πληροφοριών από την άλλη. Αρχικά η πληροφορία μεταφερόταν μέσω της υποδομής που υπήρχε για τις φυσικές μεταφορές και κατά συνέπεια μεταφερόταν μεταξύ των τόπων όπου υπήρχαν εμπορικές δραστηριότητες, όπως π.χ. μεταξύ των πόλεων. Με την έλευση των τηλεπικοινωνιών, η σχέση μεταξύ της μεταφοράς της πληροφορίας και της φυσικής μεταφοράς των αγαθών άλλαξε δραματικά. Στα πρώτα τηλεγραφικά συστήματα, η αφετηρία και ο προορισμός της πληροφορίας καθοριζόταν κυρίως από τις θέσεις όπου υπήρχαν ανθρώπινες δραστηριότητες. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα μηνύματα στέλνονταν κατά κύριο λόγο από πόλη σε πόλη, δεν χρησιμοποιούσαν πια μέσα που είχαν κύριο προορισμό τη φυσική μεταφορά των εμπορευμάτων.

Η έλευση των βασικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών βελτίωσε κατά πολύ την απόδοση της μεταφοράς εφοδίων. Στις μέρες μας, οι βελτιωμένες τεχνικές ανταλλαγής δεδομένων που είναι στη διάθεσή μας χάρη στις επικοινωνίες υπολογιστών, έχουν αυξήσει την απόδοση της μεταφοράς εφοδίων και έχουν συντελέσει στην ομαλοποίηση της αγοράς. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας του Fax εξηγείται από την κλασική ανάγκη ανταλλαγής μηνυμάτων (μεταξύ σταθερών θέσεων) σε γραπτή ή τυπωμένη μορφή και την πανταχού παρούσα ηλεκτρονική υποδομή, δηλαδή το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Οι ραδιοεπικοινωνίες, μια από τις αρχικές εφαρμογές των οποίων είναι οι κινητές επικοινωνίες, διαφοροποίησαν περαιτέρω τη χωρική σχέση μεταξύ της τηλεπικοινωνιακής υποδομής και εκείνης των φυσικών μεταφορών. Δεν είναι μόνο τα μέσα χωριστά στο χώρο αλλά και η αφετηρία και ο προορισμός των μηνυμάτων δεν συμπίπτει γενικά πια με την αφετηρία ή τον προορισμό της φυσικής μεταφοράς. Ο ασύρματος τηλεγράφος, για παράδειγμα, του Marconi χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία πλοίων με την ακτή. Η δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών με πλοία κατά την μετακίνησή τους από ένα σημείο σε άλλο, γενίκευσε τη χωρική σχέση μεταξύ της ροής της κίνησης της πληροφορίας και της υποδομής για φυσική μεταφορά σε ένα πιο δυναμικό τρόπο λειτουργίας, που εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Στο πρώτο αυτό μέρος, θα κάνουμε μια εισαγωγή στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας και θα δούμε εν συντομία τα κυριότερα συστήματα που αναπτύχθηκαν με το πέρασμα του χρόνου σε ολόκληρο τον κόσμο. Συγκεκριμένα θα δούμε την ιστορική εξέλιξη και τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων, αλλά και το πώς φτάσαμε στα σύγχρονα κυψελωτά συστήματα επικοινωνίας. Επίσης θα εξηγήσουμε κάποιες βασικές έννοιες, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση της

λειτουργίας των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας και τέλος θα αναφέρουμε παραδείγματα τέτοιων συστημάτων, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στα κυψελωτά συστήματα επικοινωνίας.

Ιστορική εξέλιξη συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας

Ιστορικά η ανάπτυξη στον τομέα των κινητών επικοινωνιών γίνεται με αργό ρυθμό και συμβαδίζει στενά με τις τεχνολογικές βελτιώσεις. Η ιδέα της παροχής ασύρματης επικοινωνίας στους κατοίκους μιας περιοχής με σχετικά μεγάλη έκταση δεν είχε καν συλληφθεί, μέχρι τη στιγμή που τα εργαστήρια Bell ανέπτυξαν την έννοια της κυψελωτής επικοινωνίας στις δεκαετίες του '60 και του '70. Με την ανάπτυξη ενός υλικού ραδιοσυχνοτήτων, το οποίο ήταν σχεδιασμένο σε μικρή κλίμακα και είχε μεγάλη αξιοπιστία, στην δεκαετία του '70 ουσιαστικά ξεκίνησε και η εποχή της ασύρματης επικοινωνίας. Στη συνέχεια θα δούμε τα βήματα εξέλιξης που ακολούθησε η ασύρματη επικοινωνία σε ολόκληρο τον κόσμο:

Η.Π.Α.

Στην Αμερική η εξέλιξη της κινητής ραδιοτηλεφωνίας ξεκίνησε το 1946, όπου παρουσιάστηκε η πρώτη δημόσια υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας σε 25 μεγάλες αμερικανικές πόλεις. Κάθε σύστημα χρησιμοποιούσε έναν μόνο πομπό υψηλής ισχύος και έναν μεγάλο πύργο για να καλύπτει αποστάσεις άνω των 50 χλμ. σε μια συγκεκριμένη περιοχή κάλυψης. Τα πρώτα τηλεφωνικά συστήματα στα τέλη της δεκαετίας του '40 χρησιμοποιούσαν ένα εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων της τάξης των 120 kHz, το οποίο λειτουργούσε με έναν half-duplex τρόπο, σύμφωνα με τον οποίο μόνο ένα άτομο τη φορά μπορούσε να μιλήσει κατά τη διάρκεια ενός τηλεφωνήματος. Το 1950 η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (Federal Communications Commission-FCC) διπλασίασε τον αριθμό των καναλιών της κινητής τηλεφωνίας ανά περιοχή κάλυψης, χωρίς όμως να προχωρήσει σε εκχώρηση επιπρόσθετου εύρους ζώνης συχνοτήτων. Η βελτίωση στην τεχνολογία των ασύρματων επικοινωνιών επέτρεψε ακόμη την μείωση του εύρους ζώνης του καναλιού στο μισό, δηλαδή στα 60 kHz.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών '50 και '60 τα AT&T Εργαστήρια Bell και άλλες εταιρίες τηλεπικοινωνιών σε όλον τον κόσμο ανέπτυξαν την θεωρία και τις τεχνικές της κυψελωτής ραδιοτηλεφωνίας. Η θεωρία αυτή, την οποία θα εξηγήσουμε αναλυτικά παρακάτω, βασίζεται στην ιδέα της διάσπασης μιας ζώνης κάλυψης σε μικρότερες κυψέλες (cells), κάθε μια από τις οποίες ξαναχρησιμοποιεί ποσότητες του φάσματος συχνοτήτων (frequency reuse) για να αυξήσει την χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης για την μετάδοση των δεδομένων. Τον τρόπο με τον οποίο γίνεται μια τέτοια επαναχρησιμοποίηση του φάσματος συχνοτήτων από το κυψελωτό σύστημα επικοινωνίας θα τον δούμε στην συνέχεια. Βέβαια η χρήση μιας τέτοιας τεχνικής συνεπάγεται και μεγαλύτερο κόστος σε ότι αφορά την υποδομή του συστήματος. Τελικά φτάνουμε στο 1983, όπου η FCC εκχώρησε συνολικά 666 duplex κανάλια (στα οποία η μετάδοση γίνεται ταυτόχρονα μεταξύ του πομπού και του δέκτη) και δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό το αμερικανικό σύστημα Προηγμένης Κινητής Τηλεφωνίας (Advanced Mobile Phone System-AMPS). Σύμφωνα με τους κανόνες που έθεσε η FCC, κάθε πόλη επιτρεπόταν να έχει δύο παροχές κυψελωτών συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας. Το

γεγονός αυτό εξασφάλιζε κάποιο επίπεδο ανταγωνισμού και κατά συνέπεια καλύτερης παροχής υπηρεσιών στους χρήστες του συστήματος.

Στα τέλη του 1991, το υλικό για τη δημιουργία του πρώτου αμερικανικού συστήματος Ψηφιακής Κυψελωτής Επικοινωνίας (U.S. Digital Cellular-USDC) εγκαταστάθηκε σε μεγάλες αμερικανικές πόλεις. Το USDC πρότυπο επιτρέπει στους χειριστές κυψελωτών συσκευών να αντικαταστήσουν με κομψό τρόπο κάποια αναλογικά κανάλια ενός μόνο χρήστη με ψηφιακά κανάλια, τα οποία υποστηρίζουν ταυτόχρονα 3 χρήστες στο ίδιο εύρος ζώνης των 30 kHz. Η βελτίωση στην χωρητικότητα που προσφέρει το USDC είναι 3 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του AMPS, εξαιτίας της ψηφιακής διαμόρφωσης (συγκεκριμένα χρησιμοποιείται $\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying-DQPSK διαμόρφωση) που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση της ομιλίας, και της χρήσης πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση στο χρόνο (Time Division Multiple Access-TDMA), αντί για τη χρήση αναλογικής διαμόρφωσης στη συχνότητα (Frequency Modulation-FM) και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση στη συχνότητα (Frequency Division Multiple Access-FDMA).

Τέλος οι άδειες για την υπηρεσία προσωπικής επικοινωνίας (Personal Communication Service-PCS) στην μάντα των 1800/1900 MHz δημοπρατήθηκαν από την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών στους παροχείς ασύρματων συστημάτων στις αρχές του 1995. Στόχος τους ήταν να εξαπλώσουν νέες ασύρματες υπηρεσίες όχι μόνο στις Η.Π.Α. αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου, οι οποίες θα συμπληρώνουν και ως ένα βαθμό θα ανταγωνίζονται τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες των κυψελωτών συστημάτων επικοινωνίας.

Ευρώπη-Ασία

Σε ότι αφορά τον υπόλοιπο κόσμο και κυρίως την Ευρώπη, η οποία και μας ενδιαφέρει άμεσα, έχουν αναπτυχθεί πολλά πρότυπα για ασύρματα συστήματα. Το πιο κοινό πρότυπο που χρησιμοποιείται κυρίως σε paging συστήματα επικοινωνίας, τα οποία θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, είναι το Post Office Code Standard Advisory Group (POCSAG). Αναπτύχθηκε από το Βρετανικό ταχυδρομείο στα τέλη της δεκαετίας του '70 και υποστηρίζει FSK (Frequency Shift Keying) σηματοδότηση στα 512 bps, 1200 bps και 2400 bps. Μια εξέλιξη αυτού του προτύπου αποτελεί το πρότυπο ERMES, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης με ρυθμό έως και 6400 bps, χρησιμοποιώντας μια διαμόρφωση τεσσάρων επιπέδων.

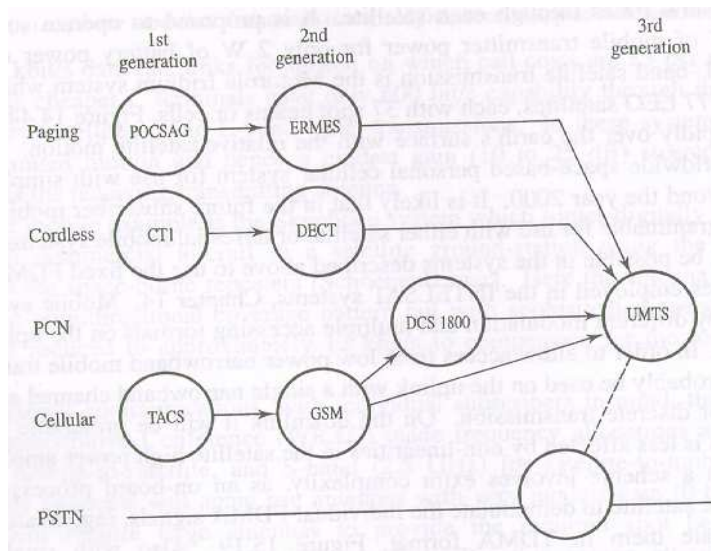
Τα πρότυπα CT2 και Digital European Cordless Telephone (DECT), που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη, είναι τα δύο πιο δημοφιλή πρότυπα ασύρματης τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη αλλά και την Ασία. Το σύστημα CT2 κάνει χρήση των μικροκυψελών, που καλύπτουν μικρές αποστάσεις, συνήθως μικρότερες των 100 μέτρων, χρησιμοποιώντας σταθμούς βάσης (base stations) με κεραιές που τοποθετούνται σε σημεία του δρόμου ή σε κτίρια. Επίσης πετυχαίνει μια υψηλότερης ποιότητας μετάδοση φωνής, χρησιμοποιώντας μια τεχνική FSK (Frequency Shift Keying) διαμόρφωσης μαζί με έναν κωδικοποιητή φωνής, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα σχήμα ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) διαμόρφωσης των 32 kbps. Όσον αφορά το πρότυπο DECT, αυτό εξυπηρετεί τη μετάδοση δεδομένων και φωνής για τους χρήστες που εργάζονται σε κάποιο γραφείο ή σε μια επιχείρηση. Ένα άλλο σύστημα επικοινωνίας που αναπτύχθηκε το 1985 είναι το European Total

Access Cellular System (ETACS), το οποίο είναι ουσιαστικά ταυτόσημο με το σύστημα AMPS που χρησιμοποιείται στην Αμερική. Η μόνη διαφορά του είναι ότι τα μικρότερου εύρους ζώνης κανάλια που χρησιμοποιεί έχουν ως αποτέλεσμα μια ελαφριά υποβάθμιση του λόγου Σήματος-προς-Θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio-SNR) που επιτυγχάνεται από το σύστημα και τον περιορισμό της ακτίνας κάλυψης του συστήματος.

Γενικά η πρώτη αυτή γενιά ευρωπαϊκών συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, που περιγράψαμε προηγουμένως, παρουσιάζει μια ασυμβατότητα σε ότι αφορά την επικοινωνία καθενός συστήματος με τα υπόλοιπα, εξαιτίας των διαφορετικών συχνοτήτων και των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται. Η επίλυση αυτού του προβλήματος ασυμβατότητας μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων έγινε ουσιαστικά με την καθιέρωση του πανευρωπαϊκού προτύπου, για συστήματα κυψελωτής επικοινωνίας, του GSM (Global System for Mobile). Το πρότυπο αυτό, που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1990 σε μια νέα μπάντα των 900 MHz, αποτέλεσε και την απαρχή των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας της δεύτερης γενιάς, τα οποία επικράτησαν σε ολόκληρη την Ευρώπη, με σκοπό την παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος σε ότι αφορά την εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών στην Ασία, αξίζει να αναφέρουμε την υιοθέτηση από την Ιαπωνία του προτύπου Pacific Digital Cellular (PDC). Πρόκειται για ένα πρότυπο που παρέχει μια ψηφιακή κυψελωτή κάλυψη στους χρήστες, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα παρόμοιο με αυτό που είδαμε στο USDC σύστημα ασύρματης επικοινωνίας.

Μια συνοπτική περιγραφή αυτής της εξέλιξης των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας από γενιά σε γενιά γίνεται με το Σχήμα 1:



Σχήμα 1

Σε ότι αφορά τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας 3ης γενιάς, που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα, όπως είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), είναι συστήματα που στις μέρες μας έχουν ήδη αρχίσει να λειτουργούν πειραματικά και στόχο έχουν να αντικαταστήσουν στο άμεσο μέλλον τα ήδη υπάρχοντα κυψελωτά και μη συστήματα επικοινωνίας. Αυτό θα γίνει καθιερώνοντας μια ενιαία πλατφόρμα, στην οποία θα ενσωματωθούν οι ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες των

σύγχρονων συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, αλλά θα προστεθούν και νέες βελτιωμένες υπηρεσίες για τους χρήστες.

Περιγραφή βασικών εννοιών της ασύρματης επικοινωνίας

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε κάποιες βασικές έννοιες που πρέπει να γίνουν κατανοητές, προκειμένου να επεξηγήσουμε στη συνέχεια την δομή και τα χαρακτηριστικά μερικών συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας και κυρίως των κυψελωτών συστημάτων που μας ενδιαφέρουν. Μερικοί από τους όρους που σχετίζονται με την ασύρματη επικοινωνία και θα τους χρησιμοποιούμε συχνά από εδώ και πέρα είναι οι εξής:

Κινητό (Mobile): Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα τερματικό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με χρήση του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία είναι προσαρτημένη σε μια κινητή πλατφόρμα υψηλής ταχύτητας. Σύνηθες παράδειγμα μιας τέτοιας συσκευής είναι ένα κινητό τηλέφωνο που βρίσκεται σε ένα όχημα που κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Αντίθετα ο όρος φορητό (portable) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα τερματικό ραδιοεπικοινωνίας, το οποίο μπορεί να είναι χειροκίνητο και να χρησιμοποιείται από κάποιον όταν βρίσκεται σε κίνηση. Δηλαδή μπορεί να είναι ένα walkie-talkie ή ένα ασύρματο τηλέφωνο μέσα σε ένα σπίτι.

Συνδρομητής (Subscriber): Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει έναν κινητό ή φορητό χρήστη, γιατί στα περισσότερα συστήματα κινητής επικοινωνίας κάθε χρήστης πληρώνει μια συνδρομή για να χρησιμοποιήσει το σύστημα. Η συσκευή επικοινωνίας ενός συνδρομητή ονομάζεται μονάδα συνδρομητή (subscriber unit).

Σταθμός Βάσης (Base Station): Είναι ένας σταθερός σταθμός σε ένα κινητό σύστημα ραδιοεπικοινωνίας, που χρησιμοποιείται για την ραδιοεπικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς εκπομπής και λήψης, που είναι οι κινητές (mobile) συσκευές. Οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται στο κέντρο ή στην στα όρια μιας περιοχής κάλυψης και αποτελούνται από κανάλια ραδιοεπικοινωνίας και κεραίες εκπομπής και λήψης που τοποθετούνται σε έναν πύργο.

Mobile Switching Center (MSC): Είναι ένα κέντρο μεταγωγής που συντονίζει την δρομολόγηση των κλήσεων σε μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Σε ένα κυψελωτό σύστημα ραδιοεπικοινωνίας, το MSC συνδέει τους κυψελωτούς σταθμούς βάσης (Base Stations) και τα κινητά με το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (Public Switched Telephone Network-PSTN). Το MSC αρχικά ονομάστηκε και γραφείο μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας (Mobile Telephone Switching Office-MTSO).

Τα κινητά επικοινωνούν με τους σταθερούς σταθμούς βάσης, που συνδέονται με μια εμπορική πηγή ενέργειας και ένα σταθερό δίκτυο σκελετού (backbone network). Για να συνδεθούν οι κινητοί συνδρομητές με τους σταθμούς βάσης, εγκαθίστανται ραδιοζεύξεις (radio links), χρησιμοποιώντας ένα προσεκτικά ορισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας, που καλείται Common Air Interface (CAI). Αυτό είναι στην ουσία ένα επακριβώς ορισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας με τη μορφή χειραψίας (handshake). Το CAI καθορίζει ακριβώς πως οι κινητοί συνδρομητές και οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν με ραδιοσυχνότητες και επίσης καθορίζει τις μεθόδους με τις οποίες θα γίνει η σηματοδότηση ελέγχου του

καναλιού. Το CAI πρέπει να παρέχει μια αρκετά μεγάλη αξιοπιστία για το κανάλι μέσω του οποίου γίνεται η επικοινωνία, προκειμένου να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα αποστέλλονται και λαμβάνονται σωστά μεταξύ του κινητού και του σταθμού βάσης.

Είδη συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας

Τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που υπάρχουν σήμερα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Simplex συστήματα: Η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο προς τη μια κατεύθυνση. Τέτοια είναι τα paging συστήματα, όπου τα μηνύματα λαμβάνονται από τον χρήστη, αλλά δεν στέλνεται κάποιο σήμα επιβεβαίωσης για το ότι ο χρήστης έλαβε το μήνυμα πίσω στον σταθμό βάσης.

Half duplex συστήματα: Επιτρέπουν την επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι τόσο για την μετάδοση όσο και για την λήψη δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι σε μια δεδομένη στιγμή ένας χρήστης μπορεί μόνο να μεταδώσει ή να λάβει πληροφορία.

Full duplex συστήματα: Επιτρέπουν την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη μεταξύ του συνδρομητή και του σταθμού βάσης, παρέχοντας δύο ταυτόχρονα αλλά ξεχωριστά κανάλια, οπότε μιλάμε για διπλή διαίρεση στη συχνότητα (frequency division duplex ή FDD) ή γειτονικές χρονικές σχισμές σε ένα μόνο κανάλι ραδιοεπικοινωνίας, οπότε έχουμε την διπλή διαίρεση στον χρόνο (time division duplex ή TDD), για επικοινωνία προς και από τον χρήστη.

Στο FDD χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστές κεραίες εκπομπής και λήψης στο σταθμό βάσης, προκειμένου να εξυπηρετήσουν τα δύο ξεχωριστά κανάλια, αλλά μόνο μια κεραία στην μονάδα του συνδρομητή, ταυτόχρονα για εκπομπή προς τον σταθμό βάσης και λήψη από αυτόν. Για το λόγο αυτό υπάρχει ενσωματωμένη σε αυτή μια συσκευή που καλείται duplexer και ενεργοποιεί την ίδια κεραία, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη. Επίσης στο FDD χρησιμοποιείται ένα ζεύγος από simplex κανάλια με μια σταθερή και γνωστή απόσταση στη συχνότητα. Το κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την κίνηση δεδομένων προς τον κινητό χρήστη από τον σταθμό βάσης καλείται έμπροσθεν κανάλι (forward channel), ενώ το κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την κίνηση δεδομένων από τον κινητό χρήστη προς τον σταθμό βάσης καλείται αντίστροφο κανάλι (reverse channel).

Το TDD από την άλλη είναι εφικτό μόνο με μορφές ψηφιακής μετάδοσης και ψηφιακή διαμόρφωση, ενώ είναι πολύ ευαίσθητο στο χρονισμό. Εξαιτίας αυτού το TDD έχει χρησιμοποιηθεί μόλις πρόσφατα και μόνο για εσωτερικού χώρου ή μικρής περιοχής ασύρματες εφαρμογές, όπου οι φυσικές αποστάσεις που καλύπτονται (και επιπλέον η χρονική καθυστέρηση για την διάδοση του σήματος εκπομπής στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων) είναι πολύ μικρότερες από τα πολλά χιλιόμετρα που χρησιμοποιούνται σε συμβατικά συστήματα κυψελωτής τηλεφωνίας.

Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, μερικά παραδείγματα συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας είναι τα παρακάτω:

Paging συστήματα: Είναι συστήματα επικοινωνίας που στέλνουν σύντομα μηνύματα σε έναν συνδρομητή. Το μήνυμα αυτό ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας μπορεί να είναι ένα αριθμητικό ή αλφαριθμητικό μήνυμα ή ένα φωνητικό μήνυμα. Ένα μήνυμα αποστέλλεται σε έναν συνδρομητή αυτών

των συστημάτων μέσω του αριθμού πρόσβασης στο paging σύστημα (συνήθως ένας τηλεφωνικός αριθμός χωρίς χρέωση), χρησιμοποιώντας ένα τηλεφωνικό πληκτρολόγιο ή ένα modem. Το μήνυμα που εκδίδεται καλείται σελίδα (page). Στη συνέχεια το paging σύστημα μεταδίδει τη σελίδα σε κάθε σημείο της περιοχής εξυπηρέτησης, χρησιμοποιώντας σταθμούς βάσης, που μεταδίδουν την σελίδα με μια φέρουσα, που έχει κάποια συγκεκριμένη συχνότητα στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Τα paging συστήματα σχεδιάζονται για να παρέχουν αξιόπιστη επικοινωνία στους συνδρομητές οπουδήποτε και αν αυτοί βρίσκονται. Αυτό απαιτεί μεγάλες ισχύες μετάδοσης (της τάξης των kilowatts) και χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων (μερικές χιλιάδες bits το δευτερόλεπτο), ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη κάλυψη από κάθε σταθμό βάσης.

Ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα (cordless telephone systems): Είναι full duplex συστήματα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούν το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων για να συνδέσουν μια φορητή τηλεφωνική συσκευή σε έναν αφοσιωμένο σταθμό βάσης, ειδικά γι' αυτόν τον σκοπό. Ο σταθμός αυτός βάσης στη συνέχεια συνδέεται σε μια επίσης αφοσιωμένη τηλεφωνική γραμμή, με ένα συγκεκριμένο τηλεφωνικό νούμερο στο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (PSTN). Τα ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα παρέχουν στον χρήστη περιορισμένη εμβέλεια και κινητικότητα, γιατί συνήθως δεν είναι δυνατόν να διατηρηθεί μια κλήση αν ο χρήστης ταξιδεύει έξω από την εμβέλεια του σταθμού βάσης.

Κυψελωτά τηλεφωνικά συστήματα (cellular telephone systems): Είναι αυτά που κυρίως θα μας απασχολήσουν και έχουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Τα συστήματα αυτά παρέχουν μια ασύρματη σύνδεση στο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (PSTN), για οποιονδήποτε χρήστη βρίσκεται στην εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας του συστήματος. Τα κυψελωτά συστήματα εξυπηρετούν ένα μεγάλο αριθμό χρηστών μέσα σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή για ένα περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων. Η υψηλή τους χωρητικότητα επιτυγχάνεται από τον περιορισμό της περιοχής κάλυψης του πομπού κάθε σταθμού βάσης σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή, που καλείται κυψέλη (cell). Με τον τρόπο αυτό τα ίδια κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά από έναν άλλο σταθμό βάσης, που βρίσκεται τοποθετημένος σε κάποια απόσταση από τον αρχικό, η οποία είναι τέτοια ώστε να μην δημιουργείται παρεμβολή (interference) μεταξύ των δύο σταθμών βάσης και κατά συνέπεια μεταξύ των χρηστών του συστήματος.

Μια εκλεπτυσμένη τεχνική, που καλείται handoff, χρησιμοποιείται για την μεταγωγή του χρήστη από μια περιοχή κάλυψης σε μια άλλη (δηλαδή από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλο) και επιτρέπει σε μια κλήση να συνεχίσει χωρίς διακοπή, όταν ο χρήστης κινείται από μια κυψέλη (cell) σε μια άλλη.

Περισσότερα για τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αυτή η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (frequency reuse) και το handoff στα κυψελωτά συστήματα θα δούμε στη συνέχεια. Επίσης θα περιγράψουμε τα βασικά δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα κυψελωτό σύστημα επικοινωνίας, αλλά και την διαδικασία που ακολουθείται όταν ένας κινητός χρήστης πραγματοποιεί μια κλήση από το κινητό του τηλέφωνο.

ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ο όρος «κινητές και προσωπικές επικοινωνίες» σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς ανθρώπους. καλύπτει πολλές απόψεις των ασύρματων επικοινωνιών που αφορούν διάφορες εφαρμογές σε ποικίλα περιβάλλοντα και ποικίλες γεωγραφικές εκτάσεις. Σκοπός των επερχόμενων υπηρεσιών κινητών και προσωπικών επικοινωνιών είναι να καταστήσουν δυνατή την επικοινωνία με οποιοδήποτε πρόσωπο, σε οποιοδήποτε μέρος και με οποιαδήποτε μορφή. Οι έννοιες που καθιστούν δυνατή την παροχή προσωπικών επικοινωνιών οπουδήποτε είναι:

- η κινητικότητα του τερματικού (terminal mobility) που παρέχεται από την ασύρματη πρόσβαση,
- η προσωπική κινητικότητα (personal mobility) που βασίζεται σε προσωπικούς αριθμούς κλήσης, και
- η φορητότητα των υπηρεσιών (service portability) που επιτυγχάνεται μέσω της διαχείρισης του προφίλ εξυπηρέτησης των χρηστών.

Οι έννοιες αυτές χρησιμοποιούνται σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο για να καθορίσουν και να τυποποιήσουν ένα σύνολο συστημάτων και υπηρεσιών κινητών και προσωπικών επικοινωνιών

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Εισαγωγή

Για την υλοποίηση των επίγειων ραδιοσυστημάτων κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Μια από τις πολλές αιτίες που αναπτύχθηκαν τα κυψελωτά συστήματα και εφαρμόστηκαν σε πολλές χώρες είναι οι λειτουργικοί περιορισμοί των συμβατικών συστημάτων κινητών επικοινωνιών, δηλαδή η περιορισμένη δυνατότητα εξυπηρέτησης, η φτωχή επίδοση της υπηρεσίας και η μη αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος των συχνοτήτων. Σε ένα συμβατικό (μη κυψελωτό) σύστημα κινητών επικοινωνιών επιλέγονται συνήθως ένας ή περισσότεροι διάυλοι από μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων για να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομες γεωγραφικές ζώνες. Η περιοχή κάλυψης κάθε ζώνης σχεδιάζεται συνήθως να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη, γεγονός που σημαίνει ότι η εκπεμπόμενη ισχύς πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη, φυσικά, εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Ο χρήστης που πραγματοποιεί μια κλήση και αρχίζει την επικοινωνία βρισκόμενος σε κάποια ζώνη πρέπει να ξαναρχίσει την κλήση αυτή όταν μπαίνει σε μια νέα ζώνη, διότι η κλήση αποκόπτεται κατά την είσοδο στη νέα ζώνη. Τούτο βέβαια είναι ανεπιθύμητο, όταν δεν εξασφαλίζεται να τελειώνει μια κλήση πριν ο χρήστης αλλάξει ζώνη. Δεν προβλέπεται στα συστήματα αυτά η διαδικασία της διαπομπής, δηλαδή, η αυτόματη αλλαγή της συχνότητας όταν το κινητό μπαίνει σε διαφορετική ζώνη συχνοτήτων, ώστε να μπορεί να συνεχιστεί η επικοινωνία στη νέα ζώνη χωρίς την ανάγκη να γίνει επανεγκατάσταση της κλήσης. Άλλο μειονέκτημα των συμβατικών συστημάτων είναι ότι ο αριθμός των ενεργών χρηστών περιορίζεται από τον αριθμό των διαύλων που αφιερώνονται σε μια συγκεκριμένη

ζώνη συχνοτήτων. Ο μεγάλος αριθμός συνδρομητών σε αυτή την περίπτωση δημιουργεί αρκετά μεγάλη πιθανότητα αποκλεισμού κατά τις ώρες αιχμής. Επίσης, όσον αφορά στη χρησιμοποίηση του φάσματος, το συμβατικό σύστημα δεν χρησιμοποιεί αποδοτικά το φάσμα, καθότι κάθε ραδιοδιάλυλος μπορεί να εξυπηρετεί ένα χρήστη κάθε φορά σε όλη την περιοχή. Οι περιορισμοί που υπεισέρχονται από το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων, αποτελούν το μεγάλο πρόβλημα στις ραδιοεπικοινωνίες.

Η πολιτική των Εθνικών Επιτροπών Τηλεπικοινωνιών για την ανάθεση συχνοτήτων, στοχεύει στην αναζήτηση συστημάτων που χρειάζονται μικρότερο εύρος ζώνης αλλά παρέχουν υψηλή χρησιμοποίησή του και ικανοποιούν το χρήστη. Το ιδανικό κινητό σύστημα επικοινωνιών θα πρέπει να λειτουργεί σε μια περιορισμένη προδιαγεγραμμένη ζώνη και να εξυπηρετεί σχεδόν απεριόριστο αριθμό χρηστών σε απεριόριστες περιοχές. Τρεις προσεγγίσεις υπάρχουν για την επίτευξη του ιδανικού συστήματος.

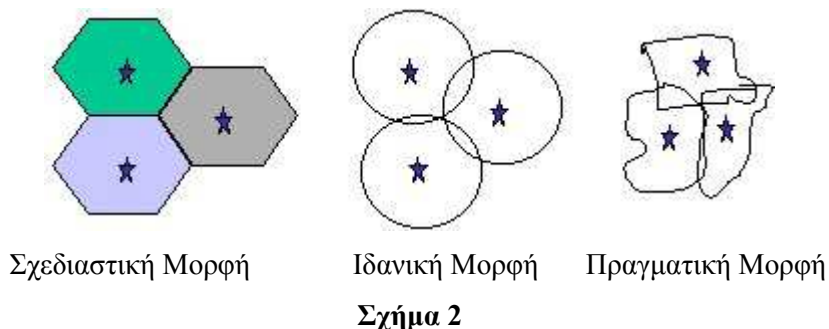
1. Η προσέγγιση στενής ζώνης, που διαιρεί τη ζώνη συχνοτήτων που κατανέμεται, σε μέγιστο αριθμό διαύλων.
2. Η προσέγγιση απλωμένου φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας,, που παράγει πολλούς κώδικες σε μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων.
3. Η προσέγγιση του κυψελωτού συστήματος, το οποίο επαναχρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων που του διατίθεται σε διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις.

Το 1971, η κυψελωτή προσέγγιση έδειξε να είναι το πιο αποδοτικό σύστημα, όσο αφορά το φάσμα. Το κυψελωτό σύστημα χρησιμοποιεί διαύλους VHF ή UHF για μετάδοση σε αποστάσεις από λίγες δεκάδες μέτρα μέχρι λιγότερο από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων εφαρμόζεται κατά κανονικό και συστηματικό τρόπο.

Κυψελωτή διάταξη

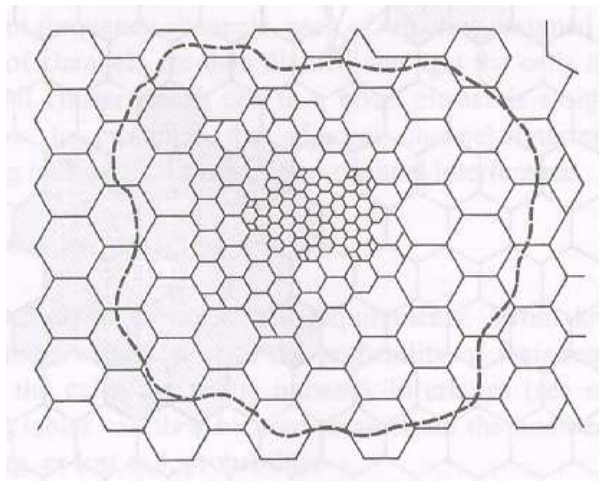
Τα δημόσια κυψελωτά ραδιοσυστήματα έχουν ηλικία μικρότερη από δύο δεκάδες χρόνια. Οι έννοιες της κυψελωτής ραδιοεπικοινωνίας είναι πολύ παλαιότερες και έχουν ρίζες στη δεκαετία του 1940, όταν η τεχνολογία ήταν πολύ ανώριμη να υποστηρίξει τέτοια συστήματα. Δύο είναι τα κύρια στοιχεία που υπάρχουν στα συστήματα κινητών ραδιοεπικοινωνιών: το ασύρματο "περιβάλλον" που επιτρέπει στους χρήστες των κινητών τερματικών να επικοινωνούν ενώ περιφέρονται, και η υποδομή ελέγχου που δίνει τη δυνατότητα σε κάθε δίκτυο να γνωρίζει πού περιφέρεται κάποιο κινητό τερματικό και να το εντοπίζει, ανεξάρτητα από το αν πραγματοποιεί κλήση ή όχι, με την προϋπόθεση βέβαια ότι το κινητό τερματικό είναι ενεργοποιημένο. Ο μηχανισμός ελέγχου καθίσταται δυνατός με μια σειρά πρωτοκόλλων που επιτρέπουν στο κινητό τερματικό να εγγράφεται στο δίκτυο, διευκολύνουν την πραγματοποίηση και την περάτωση κλήσης, μετάγουν τα κινητά τερματικά μεταξύ των σταθμών βάσης καθώς αυτά μετακινούνται, ελέγχουν τις στάθμες της εκπεμπόμενης ισχύος, παρέχουν ασφάλεια (σε μερικά συστήματα) και πραγματοποιούν χιλιάδες άλλες βασικές λειτουργίες. Ωστόσο, ο αριθμός των χρηστών, που μπορεί να υποστηρίξει ένα κυψελωτό δίκτυο, εξαρτάται βασικά από το κοινό ασυρματικό interface πάνω από το οποίο επικοινωνούν οι χρήστες. Η χωρητικότητα σε χρήστες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά οι πιο βασικοί είναι το διατιθέμενο εύρος ζώνης, το μέγεθος της έκτασης που καλύπτει ασυρματικά ένας σταθμός βάσης και το μέγεθος της παρεμβολής που μπορεί να ανεχτεί

μα επιμέρους ραδιοζεύξη. Στα κυψελωτά συστήματα, οι συχνότητες που κατανέμονται σε μια υπηρεσία επαναχρησιμοποιούνται, βάσει προδιαγεγραμμένου σχεδίου επαναχρησιμοποίησης, σε περιοχές με κανονικό σχήμα, που αποτελούν υποδιαίρεσεις της περιοχής κάλυψης του συστήματος και ονομάζονται κυψέλες (cells). Κάθε μια κυψέλη καλύπτεται από ένα σταθμό βάσης



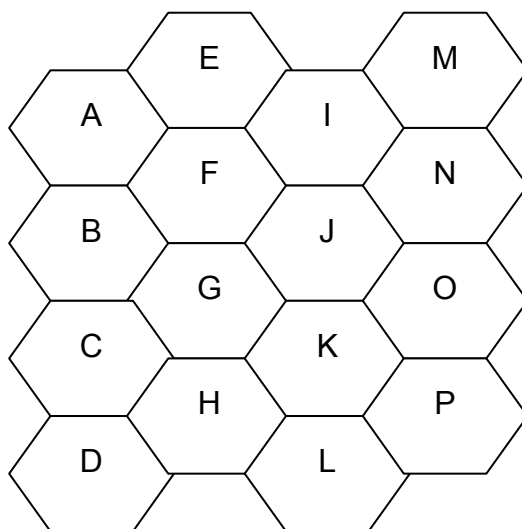
Στα δίκτυα της κινητής τηλεφωνίας, οι περιοχές αυτές θεωρείται συνήθως ότι έχουν εξαγωνικό σχήμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κυψέλες με εξαγωνικό σχήμα είναι τεχνητές και τέτοιο σχήμα δεν μπορεί να παραχθεί στην πραγματικότητα. Οι μηχανικοί σχεδιάζουν εξαγωνικές κυψέλες για να απλοποιούν τον προγραμματισμό και τη σχεδίαση των κυψελωτών συστημάτων, διότι το εξάγωνο προσεγγίζει τον κύκλο που είναι η ιδανική περιοχή κάλυψης της εκπεμπόμενης ισχύος. Οι κυκλικές μορφές κυψελών εμφανίζουν επικαλυπτόμενες περιοχές που καθιστούν ασαφή τη σχεδίαση. Οι εξαγωνικές κυψέλες ταιριάζουν μεταξύ τους θαυμάσια, χωρίς να αφήνουν κενά ή να επικαλύπτονται. Στο Σχήμα 2 φαίνονται επίσης οι μορφές της ιδανικής και της πραγματικής κυψέλης. Στα συστήματα ραδιομεταδόσεων, αναπτύχθηκε παρόμοια αρχή, που βασιζόταν σε κυψέλες με σχήμα ρόμβου. Η βασική ιδέα για τη δημιουργία της κυψέλης στηρίχθηκε στην αντικατάσταση ενός πομπού μεγάλης ισχύος (μεγάλη κυψέλη) με πολλούς πομπούς μικρής ισχύος (μικρές κυψέλες), καθένας από τους οποίους παρέχει κάλυψη σε ένα μικρό μόνο γεωγραφικό τμήμα της περιοχής εξυπηρέτησης του συστήματος. Σε κάθε σταθμό βάσης εκχωρείται ένα τμήμα του συνολικού αριθμού καναλιών που είναι διαθέσιμα σε ολόκληρο το σύστημα και σε γειτονικούς σταθμούς βάσης εκχωρούνται διαφορετικά σύνολα καναλιών, έτσι ώστε όλα τα διαθέσιμα κανάλια να ανατίθενται σε έναν σχετικά μικρό αριθμό γειτονικών σταθμών βάσης. Η ανάθεση αυτών των διαφορετικών συνόλων καναλιών σε γειτονικούς σταθμούς βάσης γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η παρεμβολή μεταξύ των σταθμών βάσης (και κατ' επέκταση και μεταξύ των χρηστών που αυτοί ελέγχουν) να ελαχιστοποιείται. Η ελαχιστοποίηση αυτής της παρεμβολής μεταξύ των γειτονικών σταθμών βάσης επιτυγχάνεται γιατί όταν ένας κινητός χρήστης έχει απομακρυνθεί σε μια αρκετά μεγάλη απόσταση από την αρχική κυψέλη (άρα και από τον σταθμό βάσης που τον εξυπηρετεί), το σήμα που εκπέμπει εξασθενεί πάρα πολύ με συνέπεια το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που του είχε εκχωρηθεί να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν άλλο χρήστη για να μεταδώσει, χωρίς να παρεμβάλλεται στα δεδομένα του πρώτου χρήστη. Έτσι τα διαθέσιμα κανάλια του συστήματος, τα οποία κατανέμονται σε ολόκληρη την γεωγραφική περιοχή που αυτό καλύπτει, μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν όσες φορές είναι απαραίτητο, αρκεί η παρεμβολή μεταξύ δύο σταθμών που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι να διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα.

Η χρήση λοιπόν της κυψέλης στα κυψελωτά συστήματα επικοινωνίας επιτρέπει την διαίρεση της αρχικής περιοχής κάλυψης σε μικρότερες περιοχές ακτίνας μερικών χιλιομέτρων και την τοποθέτηση σταθμών βάσης σε αυτές. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος, δηλαδή του αριθμού των χρηστών που αυτό μπορεί να εξυπηρετήσει, χωρίς την αύξηση του εύρους ζώνης. Ένα παράδειγμα της χρησιμότητας αυτής της τεχνικής απεικονίζεται στο Σχήμα 3, όπου φαίνεται η δομή ενός κυψελωτού δικτύου στο κέντρο μιας μεγαλούπολης, όπου ο αριθμός των χρηστών προς εξυπηρέτηση είναι αρκετά μεγάλος:



Σχήμα 3

Στην επόμενη παράγραφο θα εξηγήσουμε αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αυτή η επαναχρησιμοποίηση του φάσματος συχνοτήτων (frequency reuse).



Σχήμα 4

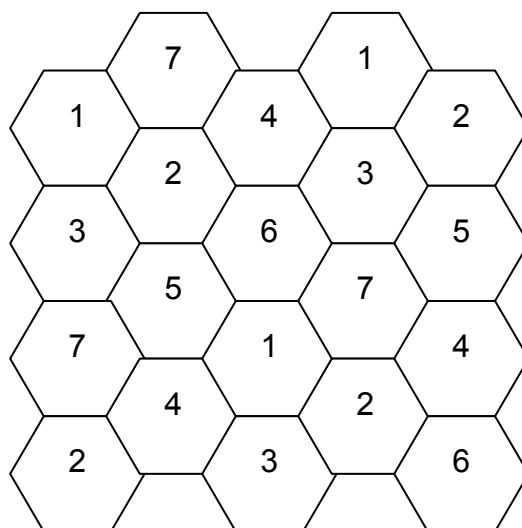
Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

Η διαδικασία σχεδιασμού που ακολουθείται για την επιλογή και εκχώρηση των συνόλων των καναλιών για όλους τους σταθμούς βάσης μέσα σε ένα κυψελωτό σύστημα καλείται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse). Με άλλα λόγια πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία έχουμε την χρησιμοποίηση ίδιων συχνοτήτων, για την μετάδοση των δεδομένων των

χρηστών, σε κυψέλες, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους τέτοια απόσταση έτσι ώστε να μην προκαλείται παρεμβολή μεταξύ των χρηστών. Και φυσικά η τεχνική αυτή αυξάνει την χωρητικότητα του κυψελωτού συστήματος επικοινωνίας.

Η βασική παράμετρος που εξετάζουμε όταν εφαρμόζουμε την τεχνική του frequency reuse είναι το μέγεθος του cluster ή αλλιώς ο παράγοντας του frequency reuse (frequency reuse factor). Για να εξηγήσουμε την παράμετρο αυτή εξετάζουμε το Σχήμα 4, όπου απεικονίζεται ένα cluster από κυψέλες σε ένα κυψελωτό σύστημα.

Παρόλο που στο παραπάνω σχήμα οι κυψέλες απεικονίζονται σαν κανονικά εξάγωνα, στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Και αυτό γιατί αν για την μετάδοση στην περιοχή που καλύπτει μία κυψέλη χρησιμοποιήσουμε έναν πομπό, που μεταδίδει με την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις (π.χ. μια ισοτροπική κεραία έχει αυτή την ιδιότητα), τότε η περιοχή στην οποία θα μπορεί κάποιος να λάβει το σήμα εκπομπής είναι κατά προσέγγιση κυκλική. Έστω λοιπόν ότι στο παραπάνω cluster θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε μια συχνότητα, έστω 1, στην κυψέλη Α. Προφανώς η συχνότητα αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις γειτονικές κυψέλες του Α, όπως είναι τα Β, F, και Ε, αλλά ούτε και στα C, G, J ή I, γιατί τότε η παρεμβολή που θα δημιουργούνταν θα ήταν σημαντική. Ωστόσο η συχνότητα 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κυψέλες D, H, K, O, N ή M, τα οποία απέχουν αρκετή απόσταση από το Α ώστε να μην παρεμβάλλεται η μετάδοση του χρήστη της κυψέλης Α στα δεδομένα των χρηστών που εξυπηρετούνται στα όρια αυτών των κυψελών. Με βάση το συλλογισμό αυτό μπορούμε για παράδειγμα να δημιουργήσουμε αντίγραφα (patterns) μιας δομής, η οποία θα περιέχει το cell με συχνότητα 1 στο κέντρο της και περιμετρικά αυτής της κυψέλης θα υπάρχουν κυψέλες με τις συχνότητες από 2 έως 7. Τα αντίγραφα αυτά μπορούν να εκτείνονται απεριόριστα μέσα στην γεωγραφική περιοχή που καλύπτει το σύστημα. Έτσι για το συγκεκριμένο παράδειγμα μπορούμε να δημιουργήσουμε το παρακάτω cluster με μέγεθος 7:



Σχήμα 5

Στο Σχήμα 5 το cluster μεγέθους 7 που δημιουργήσαμε περιλαμβάνει τις κυψέλες 1-7 με την δομή που περιγράψαμε προηγουμένως και σε κάθε κυψέλη ανατίθεται το ένα έβδομο του συνολικού αριθμού των διαφορετικών συχνοτήτων που διαθέτει το σύστημα. Για παράδειγμα για ένα τυπικό κυψελωτό

σύστημα που διαθέτει 1000 διαφορετικές συχνότητες ή αλλιώς 1000 κανάλια, η παραπάνω δομή frequency reuse με μέγεθος cluster 7 θα εκχωρούσε σε κάθε κυψέλη το 1/7 του συνόλου των διαθέσιμων καναλιών, δηλαδή περίπου 140 κανάλια. Επομένως αν το σύστημα διαθέτει 2000 κυψέλες θα δημιουργούσαμε συνολικά $2000 \times 140 = 280000$ κανάλια. Επομένως με μόνο 1000 συχνότητες διαθέσιμες δημιουργήσαμε συνολικά έναν πολύ μεγαλύτερο αριθμό από κανάλια, που μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ περισσότερους χρήστες του συστήματος απ' ότι αρχικά.

Παρόλα όμως τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνική του frequency reuse, δεν επιλύει και όλα τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα κυψελωτά συστήματα. Για παράδειγμα τι συμβαίνει όταν ένας χρήστης μετακινείται από μία κυψέλη σε μία άλλη κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης μιας κλήσης; Ο τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων που δημιουργεί η κίνηση του χρήστη κατά μήκος των κυψελών είναι το αντικείμενο μελέτης της επόμενης παραγράφου.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Εισαγωγή

Ο αντικειμενικός σκοπός των συστημάτων κινητών επικοινωνιών είναι η δυνατότητα αποκατάστασης της επικοινωνίας μεταξύ κινητών χρηστών, αλλά και μεταξύ κινητών και ακίνητων χρηστών, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να διασφαλίζει την ολοκλήρωση των επικοινωνιών (κλήσεων) που βρίσκονται σε εξέλιξη ανεξάρτητα από την κίνηση των χρηστών. Οι απαιτήσεις που ανακύπτουν αναφορικά με την εκπλήρωση του αντικειμενικού σκοπού του συστήματος αφορούν τους εξής βασικούς τομείς του δικτύου :

Τη ραδιοκάλυψη, δηλαδή, την κατάλληλη τοποθέτηση Σταθμών Βάσης (ΣΒ) σε όλη την περιοχή κάλυψης του συστήματος. Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών, από λειτουργικής άποψης μπορεί να νοηθεί σαν ένα δίκτυο το οποίο συγκροτείται από πλήθος δικτύων συνδεδεμένων με το ενσύρματο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Η επικοινωνία μεταξύ χρηστών διαφορετικών υποδικτύων εξασφαλίζεται από την επικοινωνία όλων των υποδικτύων με το ενσύρματο δίκτυο.

Την υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών. Το δίκτυο, σε περίπτωση κλήσης, για να αποκαταστήσει την επικοινωνία μεταξύ κινητών χρηστών πρέπει να έχει την υποδομή που αφορά :

- τον προσδιορισμό της παρούσας θέσης του καλούμενου(δηλ. τον προσδιορισμό του κατάλληλου Σταθμού Βάσης, που μπορεί να υποστηρίξει την κλήση)
- τη δρομολόγηση της κλήσης.

Μια επικοινωνία που βρίσκεται σε εξέλιξη δεν πρέπει να επηρεάζεται από την κίνηση του χρήστη, η οποία πιθανόν να εμπλέκει αλλαγή κυψέλης ή αλλαγή υποδικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας διαπομπής (handover ή hand-off). Καθώς ένας χρήστης κινείται μέσα στην γεωγραφική περιοχή που καλύπτει την κυψέλη που τον εξυπηρετεί, είναι πιθανόν να πλησιάσει μια ακμή της κυψέλης. Στο σημείο αυτό το σήμα που λαμβάνει είναι τόσο αδύναμο ώστε να μην είναι εφικτή η επικοινωνία του με τον σταθμό βάσης της κυψέλης. Πιθανότατα να υπάρχει κάποια άλλη κυψέλη, που

είναι γειτονική αυτής που βρίσκεται ο χρήστης, η οποία ωστόσο χρησιμοποιεί μια διαφορετική συχνότητα από την αρχική κυψέλη και επομένως δεν γνωρίζει τίποτα για την ύπαρξη του κινητού χρήστη. Εδώ χρειάζεται να δημιουργήσουμε έναν μηχανισμό, ο οποίος θα επιτρέπει στο κινητό να κινείται από την τρέχουσα την κυψέλη στην γειτονική του κυψέλη, ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη μια κλήση. Το κρίσιμο ζήτημα για τον μηχανισμό του hand-off είναι να αποφασίσει πότε να «παραδώσει» τον χρήστη και σε ποια κυψέλη. Πρέπει επίσης να σιγουρευτεί ότι η μετάβαση του χρήστη στη νέα κυψέλη έγινε σωστά και να ανακατευθύνει την κλήση που βρίσκεται σε εξέλιξη σε αυτό, χωρίς κάτι τέτοιο να γίνει αντιληπτό από τον χρήστη με μια πιθανή διακοπή στο σήμα φωνής. Υπάρχουν διαφορετικά κριτήρια σύμφωνα με τα οποία γίνεται το hand-off για διαφορετικούς τύπους κυψελωτών συστημάτων. Στο GSM σύστημα επικοινωνίας, που είναι και το πιο σύνθετο κυψελωτό σύστημα που χρησιμοποιείται σήμερα, ο μηχανισμός του hand-off ελέγχεται από το ίδιο το δίκτυο.

Συγκεκριμένα όταν ένας κινητός χρήστης διατηρεί μια κλήση σε εξέλιξη, εκτός από το να παρακολουθεί το κανάλι που χρησιμοποιείται για την λήψη του σήματος φωνής, παρακολουθεί και τα σήματα εκπομπής των περιβαλλόντων σταθμών βάσης. Μετρώντας διαρκώς την ισχύ αυτών των σημάτων τροφοδοτεί την πληροφορία αυτή πίσω στον σταθμό βάσης της τρέχουσας κυψέλης, στην οποία βρίσκεται. Επίσης τροφοδοτεί και την πληροφορία για την ισχύ του σήματος της τρέχουσας κυψέλης. Αν η ισχύς του σήματος στην τρέχουσα κυψέλη γίνει εξαιρετικά ασθενής, το δίκτυο εξετάζει τα σήματα των υπολοίπων κυψελών και επιλέγει εκείνο που έχει μια επιτρεπτή τιμή ισχύος, τέτοια που να μπορεί να πραγματοποιηθεί η κλήση. Στη συνέχεια στέλνει ένα σήμα στη νέα κυψέλη για να κρατήσει ένα κανάλι για τον χρήστη. Μόλις γίνει η κράτηση και το κανάλι περιμένει την μετάδοση του νέου χρήστη, η τρέχουσα κυψέλη στέλνει ένα μήνυμα στον κινητό χρήστη, προκειμένου να πραγματοποιήσει την αλλαγή. Αφού πραγματοποιήσει την αλλαγή στο νέο κανάλι ο χρήστης στέλνει ένα μήνυμα στο νέο κανάλι που του εκχωρήθηκε κυψέλη για να την επιβεβαιώσει. Λαμβάνοντας το μήνυμα αυτό το δίκτυο κλείνει το κανάλι στην παλιά κυψέλη και έτσι το κινητό έχει «παραδοθεί» επιτυχημένα στη νέα κυψέλη.

Το πεπερασμένο εύρος ζώνης που διατίθεται για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών δεν επιτρέπει την παγκόσμια αναζήτηση (global paging) κάθε καλούμενου χρήστη σε όλη την περιοχή κάλυψης του συστήματος (π.χ. σε όλη την Ευρώπη) για οικονομικούς κυρίως λόγους (βλ. διάθεση υπερβολικού εύρους ζώνης, λόγω τεράστιου αριθμού χρηστών). Το πρόβλημα του εντοπισμού του καλούμενου αντιμετωπίζεται με την παρακολούθηση (καταγραφή στην Βάση Δεδομένων (ΒΔ) του συστήματος) της σχετικής θέσης του χρήστη / τερματικού. Για τον σκοπό αυτό, στα κυψελωτά συστήματα, η περιοχή ραδιοκάλυψης του συστήματος διαιρείται σε γεωγραφικές περιοχές, τις ονομαζόμενες Περιοχές Εντοπισμού (Location Area, ΠΕ) και το δίκτυο παρακολουθεί (καταγράφει στην Βάση Δεδομένων) την θέση των ενεργών τερματικών με ακρίβεια μιας περιοχής εντοπισμού σαν πληροφορία θέσης για το υπόψη τερματικό. Αυτό υποδηλώνει ότι, οποτεδήποτε ένα ενεργό τερματικό ανιχνεύσει μια νέα περιοχή εντοπισμού, αναλαμβάνει να ενημερώσει το δίκτυο σχετικά με τη νέα του θέση, με τη βοήθεια της διαδικασίας ενημέρωσης θέσης (location updating). Σε περίπτωση κλήσης, το δίκτυο ανασύρει από την Βάση Δεδομένων την πληροφορία θέσης με τη διαδικασία εντοπισμού δεδομένων (interrogation) και

κατόπιν ενεργοποιεί την διαδικασία αναζήτησης (paging), η οποία εκτελείται εντός της περιοχής εντοπισμού. Εκτός από τις παραπάνω διαδικασίες οι οποίες αφορούν την ενημέρωση της θέσης του χρήστη / τερματικού, το δίκτυο μπορεί να παρακολουθεί :

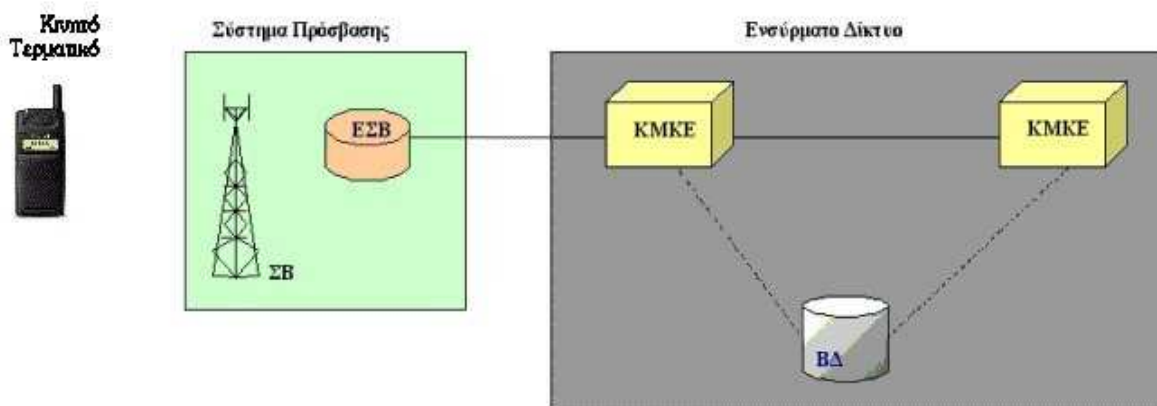
- Τις εγγραφές των χρηστών σε τερματικά, εφόσον επιτρέπεται προσωπική κινητικότητα, μέσω των διαδικασιών εγγραφής και διαγραφής χρήστη (user registration και user de-registration).
- Την κατάσταση των Κινητών Τερματικών (ΚΤ) μέσω των διαδικασιών ενεργοποίησης και απενεργοποίησης τερματικού (terminal attach και detach).

Το σύνολο των διαδικασιών που αφορούν την ενημέρωση του δικτύου (ενημέρωση θέσης, διαδικασία ενεργοποίησης, κτλ), τον προσδιορισμό της θέσης του καλούμενου (εντοπισμός δεδομένων και αναζήτηση) για προώθηση της κλήσης και τη διατήρηση της επικοινωνίας (διαπομπή) αποτελούν τις διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας (mobility management).

Φυσική Αρχιτεκτονική

Η φυσική αρχιτεκτονική ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών φαίνεται στο Σχήμα 6. Το δίκτυο μπορεί να διαιρεθεί σε τρία μέρη:

- (α) το κινητό τερματικό
- (β) το σύστημα πρόσβασης
- (γ) το ενσύρματο δίκτυο



Σχήμα 6

Οι αντιπροσωπευτικές φυσικές οντότητες της αρχιτεκτονικής είναι οι ακόλουθες :

- Κινητό Τερματικό (ΚΤ),
- Το Σύστημα Πρόσβασης, στη φυσική του υλοποίηση, είναι ένα Σύστημα Σταθμών Βάσης (ΣΣΒ), το οποίο περιλαμβάνει τον Ελεγκτή Σταθμών Βάσης (ΕΣΒ), και τους αντίστοιχους Σταθμούς Βάσης (Base Tranceiver Station, ΣΒ).
- Ενσύρματο Δίκτυο, το οποίο περιλαμβάνει τα Κέντρα Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (ΚΜΚΕ) και τη Βάση Δεδομένων (Database, ΒΔ).

Οι λειτουργίες που επιτελούν οι παραπάνω φυσικές οντότητες του δικτύου κινητών επικοινωνιών είναι οι εξής:

Κινητό τερματικό (ΚΤ)

Το κινητό τερματικό είναι η φυσική συσκευή που χρησιμοποιεί ο κινητός χρήστης προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στο δίκτυο. Η ίδια συσκευή χρησιμοποιείται για την πρόσβαση σε όλα τα συνδεδεμένα δίκτυα. Πέρα από τις γενικές λειτουργίες πρόσβασης μέσω του ασύρματου interface, το κινητό τερματικό πρέπει να προσφέρει είτε ένα interface στο χρήστη (μικρόφωνο, μεγάφωνο, οθόνη απεικόνισης κλπ.), είτε ένα interface σε κάποια άλλη τερματική συσκευή (π.χ. προσωπικό υπολογιστή ή fax), είτε και τα δύο. Μια άλλη σπουδαία οντότητα που σχετίζεται με το κινητό τερματικό είναι η κάρτα ταυτότητας του χρήστη (συνδρομητή), που σε συντομία αναφέρεται σαν ΚΤΧ (SIM - Subscriber Identity Module). Το SIM είναι βασικά μια «ευφυής» κάρτα, που εισάγεται στο τερματικό και περιέχει όλη την πληροφορία για το χρήστη, η οποία φυλάσσεται στην πλευρά του ασύρματου interface που βρίσκεται προς το χρήστη. Οι λειτουργίες του SIM, πέρα από τη δυνατότητα αποθήκευσης πληροφορίας, σχετίζονται με την αυθεντικότητα και την ασφάλεια. Το υπόλοιπο του κινητού τερματικού περιέχει όλα τα γενικά μέσα μετάδοσης και σηματοδότησης για την πρόσβαση στο δίκτυο. Η ύπαρξη SIM με μορφή κάρτας διευκολύνει κατά πολύ την εγγραφή των χρηστών στα κινητά τερματικά καθώς και την πώληση των τερματικών από μη εξειδικευμένους πωλητές.

Σύστημα Σταθμών Βάσης (ΣΣΒ)

Οι σταθμοί βάσεων είναι ραδιοσυσκευές αποστολής σημάτων και δέκτες που διαμορφώνουν μια ουσιαστική σύνδεση στις κινητές τηλεφωνικές επικοινωνίες. Οι κλήσεις περνούν μέσω αυτών των σταθμών δεδομένου ότι οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα μέσα στις περιοχές κάλυψής τους. Τα στοιχεία έχουν συνήθως μια ακτίνα διάφορων χιλιομέτρων. Εντούτοις, περισσότεροι σταθμοί βάσεων απαιτούνται όπου η κινητή τηλεφωνική χρήση είναι υψηλή. Έτσι, στις αγροτικές περιοχές τα στοιχεία μπορούν να έχουν μια ακτίνα 10 χλμ, ενώ στις πόλεις η ακτίνα τους μπορεί να είναι λιγότερο από μερικές εκατοντάδες μέτρα. Χωρίς τους ικανοποιητικούς σταθμούς βάσεων στις σωστές θέσεις, τα κινητά τηλέφωνα δεν θα εργαστούν. Το ΣΣΒ παρέχει τη δυνατότητα στα τερματικά να επικοινωνούν με το ενσύρματο δίκτυο και βρίσκεται σε άμεση επικοινωνία με τα κινητά τερματικά μέσω του ασύρματου interface. Το ΣΣΒ αποτελείται από ένα ΕΣΒ, το οποίο ελέγχει έναν αριθμό από σταθμούς βάσης, και από τους σταθμούς βάσης. Το ΕΣΒ επικοινωνεί άμεσα με τα Κέντρα Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών. Η περιοχή ραδιοκάλυψης ενός ΣΒ ορίζει μία κυψέλη (cell). Ο τρόπος διασύνδεσης των ΕΣΒ ή και των ΣΒ προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε τηλεπικοινωνιακού φορέα. Ο διαχωρισμός των λειτουργιών στο ΣΣΒ γίνεται κυρίως μεταξύ εκείνων που αφορούν τις συσκευές διαχείρισης, τους ΕΣΒ. Ένας ΣΒ αποτελείται κυρίως από διατάξεις εκπομπής και λήψης, συμπεριλαμβανομένων και των κεραιών, καθώς επίσης και από όλες τις ειδικές διατάξεις επεξεργασίας σήματος στο ασύρματο interface. Ο ΕΣΒ έχει σα σκοπό τη διαχείριση του ασύρματου interface μέσω εντολών προς τους σταθμούς βάσης και τα κινητά τερματικά. Ο ΕΣΒ συνδέεται από τη μια πλευρά προς αρκετούς ΣΒ και από την άλλη προς ένα ΚΜΚΕ. Ένας ΕΣΒ είναι στην ουσία ένα μικρό κέντρο μεταγωγής με σημαντική υπολογιστική ικανότητα. Ο κύριος ρόλος του είναι η διαχείριση των διαύλων στο ασύρματο interface και η διαχείριση των διαπομπών.

Κέντρα Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (ΚΜΚΕ)

Το ΚΜΚΕ έχει σαν κύρια λειτουργία τον έλεγχο των κλήσεων (mobile call control) από και προς τα κινητά τερματικά. Το ΚΜΚΕ έχει από τη μια πλευρά interface προς το ΣΣΒ και από την άλλη προς τα εξωτερικά δίκτυα. Το interface προς τα εξωτερικά δίκτυα μπορεί να απαιτεί την ύπαρξη μονάδας διαλειτουργίας (InterWorking Unit) για την προσαρμογή, και ο ρόλος της μονάδας αυτής είναι περισσότερο ή λιγότερο ουσιαστικός ανάλογα με τα δεδομένα του χρήστη και το δίκτυο το οποίο διασυνδέει. Το ΚΜΚΕ πρέπει επίσης να έχει interface με άλλα δίκτυα για να χρησιμοποιεί την ικανότητά τους για μεταφορά δεδομένων χρηστών ή σηματοδότησης μεταξύ των διαφόρων οντοτήτων του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Συγκεκριμένα, το ΚΜΚΕ χρησιμοποιεί ένα δίκτυο σηματοδότησης (π.χ. το SS7), ώστε να εξασφαλίζει τη λειτουργία με άλλα ΚΜΚΕ και με άλλα δίκτυα. Επίσης, το ΚΜΚΕ έχει την ευθύνη για την εκτέλεση πληθώρας λειτουργιών ελέγχου, που αφορούν τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών / τερματικών, τη διαπομπή, καθώς και λειτουργίες που σχετίζονται με την ασφάλεια της πληροφορίας. Για την επιτέλεση των παραπάνω λειτουργιών ελέγχου, το ΚΜΚΕ πρέπει να διατηρεί συνδέσεις σηματοδότησης με το ΚΤ, τη ΒΔ, το τοπικό κέντρο μεταγωγής του σταθερού δικτύου, καθώς και με γειτονικά ΚΜΚΕ. Σαν φυσική οντότητα του δικτύου κινητών επικοινωνιών, ένα ΚΜΚΕ ελέγχει μερικούς ΕΣΒ και είναι συνήθως ένα μεγάλο κέντρο μεταγωγής.

Βάση Δεδομένων (ΒΔ)

Η φυσική οντότητα ΒΔ αντιπροσωπεύει τη Βάση Δεδομένων του δικτύου. Στην οντότητα αυτή φυλάσσεται η πληροφορία που αφορά τα τερματικά (π.χ. δυνατότητες τερματικού όσον αφορά την υποστήριξη υπηρεσιών), τους συνδρομητές (υπηρεσίες στις οποίες έχει συνδρομή, κτλ.) το δίκτυο (network data), την θέση των χρηστών / τερματικών (πληροφορία θέσης), ταυτότητες (identities) για την αναγνώριση χρηστών και τερματικών καθώς και δεδομένα που αφορούν τις λειτουργίες του συστήματος (operational data) και τα αποτελέσματα των λειτουργιών αυτών (operational results). Εκτός από την αποθήκευση, η ΒΔ περιλαμβάνει και τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη μεταφορά και την ενημέρωση των δεδομένων, για την ερώτηση άλλων ΒΔ καθώς και για τη διατήρηση της συνέπειας (consistency), της ασφάλειας και της ακεραιότητας (integrity) των δεδομένων. Παρ' όλο που η ΒΔ απεικονίζεται σαν μία και μοναδική οντότητα, μπορεί να είναι και κατακεκομμένη, δηλ. η πληροφορία που συντηρεί μπορεί να φυλάσσεται σε οποιαδήποτε οντότητα του δικτύου. Υποψήφιες φυσικές οντότητες θα μπορούσαν να θεωρηθούν τα ΕΣΒ και τα ΣΣΒ.

Κάρτα Ταυτότητας Χρήστη (ΚΤΧ – SIM)

Η κινητικότητα με SIM (Subscriber Identity Module) παρέχεται στα συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών δεύτερης γενιάς και μπορεί να βοηθεί ως εξής : Η κινητικότητα με SIM υποδηλώνει τη δυνατότητα ενός χρήστη να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο, μέσω διαφόρων τερματικών, με τη χρήση του SIM. Η κινητικότητα με SIM περιλαμβάνει την ικανότητα του δικτύου να εντοπίζει το χρήστη για λόγους διευθυνσιοδότησης, δρομολόγησης και χρέωσης των κλήσεων του χρήστη. Το SIM περιέχει τις παραμέτρους που είναι απαραίτητες για την επικοινωνία με το δίκτυο. Αυτό σημαίνει, ότι το τερματικό δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς την παρουσία του SIM (εξαιρούνται οι περιπτώσεις επειγόντων κλήσεων). Η δυνατότητα μετακίνησης του SIM μπορεί να βοηθεί σαν

κάποιου είδους κινητικότητα χρήστη, που παρέχεται στους χρήστες του δικτύου, αφού επιτρέπει τη χρήση διαφόρων τερματικών από τον ίδιο χρήστη.

Οι λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες :

- Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με την κλήση. Οι λειτουργίες αυτές αφορούν διαδικασίες που πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από αν υφίσταται κλήση σε εξέλιξη και είναι :

- (α) η διαδικασία ενημέρωσης θέσης,
- (β) η διαδικασία ενεργοποίησης τερματικού,
- (γ) η διαδικασία απενεργοποίησης τερματικού,
- (δ) η διαδικασία εγγραφής χρήστη και τέλος
- (ε) η διαδικασία διαγραφής χρήστη.

Οι διαδικασίες αυτές σκοπό έχουν να κρατούν ενήμερο το δίκτυο σχετικά:

- (i) με τη θέση των τερματικών που βρίσκονται σε λειτουργία,
- (ii) την παρούσα κατάσταση των τερματικών καθώς και
- (iii) την κατάσταση εγγραφής των χρηστών.

- Λειτουργίες που σχετίζονται με την κλήση. Οι λειτουργίες αυτές αφορούν διαδικασίες που ενεργοποιούνται μόνο σε περίπτωση κλήσης που απευθύνεται σε κάποιο κινητό τερματικό / χρήστη.

Ο σκοπός των διαδικασιών αυτών είναι ο εντοπισμός του Σταθμού Βάσης εντός της περιοχής κάλυψης του οποίου βρίσκεται το καλούμενο τερματικό / χρήστης. Περιλαμβάνουν :

- (α) τη διαδικασία εντοπισμού δεδομένων και
- (β) τη διαδικασία αναζήτησης του τερματικού.

Μετά την εγκατάσταση της κλήσης, η διαδικασία διαπομπής αναλαμβάνει τη διατήρηση της επικοινωνίας μεταξύ του καλούμενου και του καλούντος.

Κλήση προς κινητό σταθμό

Κάθε σταθμός βάσης ΣΒ διαθέτει ένα κανάλι ελέγχου και πολλά κανάλια ομιλίας. Το κανάλι ελέγχου είναι ασυρματικό από τον ΚΤ προς τον ΣΒ με δύο μέρη (προς και από) και ενσύρματο από τον ΣΒ προς και από το ΚΜΚΕ (τετρασύρματη γραμμή). Με σήματα συνεχή, επικοινωνίας (μέσω του καναλιού ελέγχου) μεταξύ του ΚΤ και του ΣΒ της περιοχής όπου βρίσκεται ο ΚΤ, το ΚΜΚΕ που επικοινωνεί με όλους τους ΣΒ, γνωρίζει κάθε στιγμή που βρίσκεται κάθε κινητός σταθμός. Όλη η διαδικασία με την οποία το ΚΜΚΕ γνωρίζει συνεχώς τη θέση των συνδρομητών ονομάζεται Roaming. Όταν ένας κινητός σταθμός κινείται, μετάγεται κάποια στιγμή αυτομάτως στο κανάλι ελέγχου ενός άλλου σταθμού βάσης.

Στην περίπτωση που καλείται από το τηλεφωνικό δίκτυο ένας συνδρομητής ΚΤ, π.χ. ο αριθμός 6977123456 η σύνδεση από το τηλεφωνικό δίκτυο καταλήγει στο ΚΜΚΕ όπου ανήκει ο ΚΤ. Τότε το ΚΜΚΕ δίνει εντολή σε όλους τους ΣΒ της περιοχής του να καλέσουν τον ΚΤ 6977123456 μέσω του καναλιού ελέγχου. Ο ΚΤ 6977123456 μόλις λάβει την κλήση από τον ΣΒ όπου βρίσκεται, στέλνει σήμα επιβεβαίωσης (Acknowledgment Signal) ότι έλαβε την κλήση που φτάνει μέσω του ΣΒ στο ΚΜΚΕ. Κάθε ΣΒ διαθέτει ορισμένα κανάλια ομιλίας. Το ΚΜΚΕ γνωρίζει κάθε στιγμή τα ελεύθερα κανάλια ομιλίας κάθε ΣΒ. Έτσι το ΚΜΚΕ διαλέγει ένα ελεύθερο κανάλι ομιλίας του ΣΒ όπου βρίσκεται ο ΚΤ,

και το ΚΜΚΕ μέσω του καναλιού ελέγχου, δίνει εντολή στον ΚΤ να μεταχθεί στο κανάλι αυτό ομιλίας, έστω το X. Ο ΚΤ μετάγεται στο κανάλι ομιλίας X και στέλνει μέσω του καναλιού αυτού και του ΣΒ ένα σήμα στο ΚΜΚΕ. Το ΚΜΚΕ μέσω του καναλιού ομιλίας δίνει εντολή στον ΚΤ για κουδουνισμό και μόνον τότε ο συνδρομητής του ΚΤ πληροφορείται ότι καλείται. Όταν ο συνδρομητής απαντήσει ο ΚΤ στέλνει ένα σήμα απάντησης στο ΚΜΚΕ οπότε το ΚΜΚΕ αποκαθιστά τη σύνδεση και αρχίζει η συνδιάλεξη.

Όταν ο ΚΤ θέλει να καλέσει, ο συνδρομητής του επιλέγει πρώτα όλον τον αριθμό και μετά σηκώνει το ακουστικό του. Τότε μόνον ο ΚΤ στέλνει ένα μήνυμα στο ΚΜΚΕ μέσω του καναλιού ελέγχου. Το μήνυμα αυτό αποτελείται από ένα σήμα κλήσης και από τον αριθμό του καλουμένου. Το ΚΜΚΕ επιλέγει τότε ένα ελεύθερο κανάλι ομιλίας του ΣΒ και πληροφορεί γι' αυτό τον ΚΤ. Στη συνέχεια το ΚΜΚΕ ενεργοποιεί τον πομπό του ΚΤ και αποκαθιστά τη σύνδεση προς το Τηλεφωνικό δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της συνδιάλεξης η ποιότητα της σύνδεσης ελέγχεται με ένα σήμα που στέλνει στον ΚΤ ο ΣΒ. Το σήμα αυτό επιστρέφει στον ΣΒ από τον ΚΤ. Με κατάλληλες διατάξεις στον ΣΒ ελέγχεται η στάθμη και ο θόρυβος του σήματος που επιστρέφει. Αν η ποιότητα είναι κακή ο ΣΒ στέλνει σήμα συναγερμού στο ΚΜΚΕ. Το ΚΜΚΕ δίνει τότε εντολή στους γειτονικούς ΣΒ να ερευνήσουν εάν μπορεί να έχουν καλύτερη ποιότητα και να πληροφορήσουν γι' αυτό το ΚΜΚΕ. Τότε το ΚΜΚΕ δίνει εντολή στον ΚΤ να μεταχθεί σε άλλο κανάλι (συχνότητα), που υπάγεται στο σταθμό βάσης ΣΒ με την καλύτερη ποιότητα. Επίσης το ΚΜΚΕ συνδέει την τηλεφωνική επικοινωνία στο ίδιο κανάλι του ΣΒ αυτού.

ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πολλαπλή Πρόσβαση

Η πολλαπλή πρόσβαση παρέχει τα μέσα για την αποτελεσματική πρόσβαση στους πόρους που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη. Στο ασύρματο τμήμα των κυψελωτών συστημάτων υπάρχουν δύο τύποι διαύλων: ο διάυλος εκπομπής προς τα κάτω (downlink, από το σταθμό βάσης προς το κινητό τερματικό) και ο διάυλος πολλαπλής πρόσβασης προς τα πάνω (uplink, από το κινητό τερματικό προς το σταθμό βάσης). Εφ' όσον ο σταθμός βάσης έχει τον πλήρη έλεγχο του διαύλου αυτού, το πρόβλημα προς τα κάτω είναι λιγότερο προκλητικό από αυτό προς τα πάνω. Έτσι η προσοχή μας επικεντρώνεται στον προς τα πάνω διάυλο.

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access, MA), η οποία καθιστά τα διάσπαρτα τερματικά ικανά να μοιράζονται τον κοινό διάυλο πρόσβασης προς τα πάνω, είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα σχεδιασμού για αποτελεσματική και δίκαιη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων του συστήματος. Ένα καλό σχήμα πολλαπλής πρόσβασης μπορεί να βελτιώσει την χωρητικότητα του συστήματος, να ελαττώσει το κόστος του συστήματος, και να κάνει τις υπηρεσίες περισσότερο ελκυστικές προς τους χρήστες. Μιλώντας γενικά, υπάρχουν τρεις λέξεις κλειδιά στη σχεδίαση της πολλαπλής πρόσβασης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών:

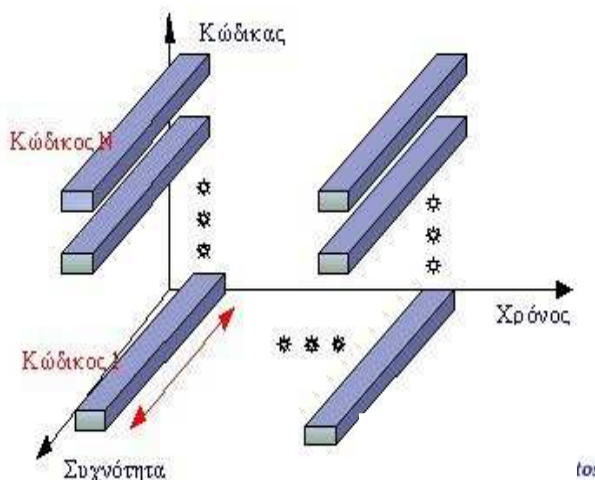
- Ευελιξία
- Ποιότητα
- Χωρητικότητα (Πόσοι χρήστες μπορούν να χωρέσουν - εξυπηρετηθούν μέσα στα πλαίσια μιας κυψέλης).

Η πολλαπλή πρόσβαση επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους πολυπλεξίας. Υπάρχουν πέντε ευρέως γνωστά συστήματα πολυπλεξίας:

1. Το Σύστημα Πολυπλεξίας Συχνότητας - FDMA (Frequency Division Multiple Access): Εξυπηρετεί κλήσεις σε διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων
2. Το Σύστημα Πολυπλεξίας Χρόνου - TDMA (Time Division Multiple Access): Εξυπηρετεί κλήσεις σε διαφορετικές χρονοθυρίδες (timeslots)
3. Το Σύστημα Κωδικής Πολυπλεξίας - CDMA (Code Division Multiple Access): Εξυπηρετεί κλήσεις στην ίδια συχνότητα, με διαφορετικούς κώδικες.
4. Το Σύστημα Πολυπλεξίας Πόλωσης - PDMA (Polarization Division Multiple Access): Εξυπηρετεί κλήσεις με διαφορετική πόλωση.
5. Το Σύστημα Πολυπλεξίας Χώρου - SDMA (Space Division Multiple Access): Εξυπηρετεί κλήσεις στην ίδια συχνότητα, σε διαφορετικές περιοχές, μέσω των κεραιών.

Τα κυψελωτά συστήματα χρησιμοποιούν τις τρεις πρώτες τεχνικές πολυπλεξίας.

CDMA



Σχήμα 7

Ένα περίτεχνο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης είναι το CDMA, το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνική εξάπλωσης φάσματος (Σχήμα 7). Δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος παρά μόνο η ανάθεση των κωδικών των χρηστών. Αντί για απευθείας μετάδοση του σήματος δεδομένων, το σήμα διαμορφώνεται από μια μοναδική κωδική ακολουθία, η οποία καλείται ακολουθία υπογραφής, και έχει ανατεθεί σε αυτό το χρήστη. Με αυτήν την διαμόρφωση, το σήμα εξαπλώνεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από εκείνο που απαιτείται για την μετάδοση του πακέτου δεδομένων. Στην πλευρά του δέκτη χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπίεση του εύρους ζώνης και την λήψη των αρχικών δεδομένων. Εάν υπάρχουν αρκετοί δέκτες στο σταθμό βάσης, είναι δυνατό να έχουμε πολλαπλές επιτυχείς λήψεις. Το CDMA έχει ήδη υιοθετηθεί για επικοινωνία φωνής, αλλά

μπορεί ταυτόχρονα να υποστηρίξει και κίνηση δεδομένων. Δεν χρειάζεται συντονισμός μεταξύ των διαφόρων χρηστών.

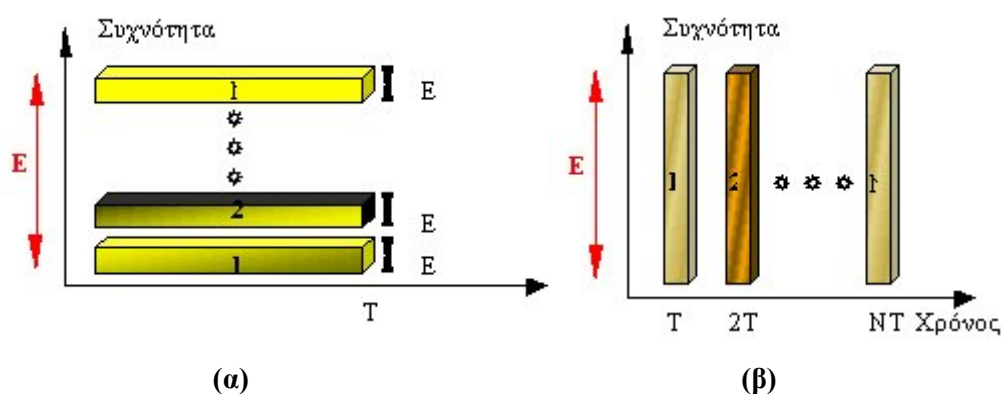
Με βάση του τρόπου διαμόρφωσης και τα χαρακτηριστικά του σήματος με εξαπλωμένο φάσμα, το CDMA μπορεί να υποδιαιρεθεί σε:

1. CDMA Ευθείας Ακολουθίας (Direct Sequence). (DS/CDMA)
2. CDMA Μεταπήδησης Συχνότητας (Frequency Hopping) (FH/CDMA)
3. CDMA Μεταπήδησης Χρόνου (Time Hopping) (TH/CDMA)

FDMA

Στην πρόσβαση FDMA αντιστοιχείται σε κάθε χρήστη ραδιοδιάυλος με μοναδική συχνότητα (Σχήμα 8α). Αυτός ο διάυλος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κοινού και από άλλους χρήστες, ακόμη και αν είναι αδρανής. Με αυτή τη σταθερή αντιστοίχιση, η λογική του ελέγχου είναι πολύ απλή, με αντάλλαγμα όμως την χαμηλή απόδοση και χωρητικότητα του συστήματος. Για να βελτιωθεί η χωρητικότητα, εισάγονται οι έννοιες της κυψελωτής /μικροκυψελωτής δομής και της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, επιτρέποντας έτσι να χρησιμοποιείται διάυλος της ίδιας συχνότητας σε απομακρυσμένες κυψέλες. Ωστόσο, τα καθοριστικά μειονεκτήματα του FDMA, όπως είναι η χαμηλή απόδοση του φάσματος, η αδυναμία του σε βλάβες των διαύλων και μη αποτελεσματικότητά του σε υπηρεσίες πολλαπλών ρυθμών μετάδοσης, το κάνουν ακατάλληλο για συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών υψηλής χωρητικότητας. Η πρόσβαση FDMA χρησιμοποιείται κυρίως στα κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς. Πρόσφατα χρησιμοποιείται σαν βοηθητικό του TDMA ή του SDMA με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος εφαρμόζοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων.

TDMA



Σχήμα 8

Στην πρόσβαση TDMA, ο χρόνος χωρίζεται σε σχισμές οι οποίες ομαδοποιούνται σε πλαίσια (Σχήμα 8β). Στο χρήστη που θέλει να επικοινωνήσει, αντιστοιχείται μια μοναδική χρονοσχιμή στο πλαίσιο. Αυτή η σχισμή μπορεί να κρατηθεί από το χρήστη μέχρι το τέλος της σύνδεσης του. Πρωτόκολλα που βασίζονται στο TDMA, χρησιμοποιούνται στα κυψελωτά συστήματα δεύτερης γενιάς, όπως είναι:

- Το GSM στην Ευρώπη
- Το ADC στην Βόρεια Αμερική

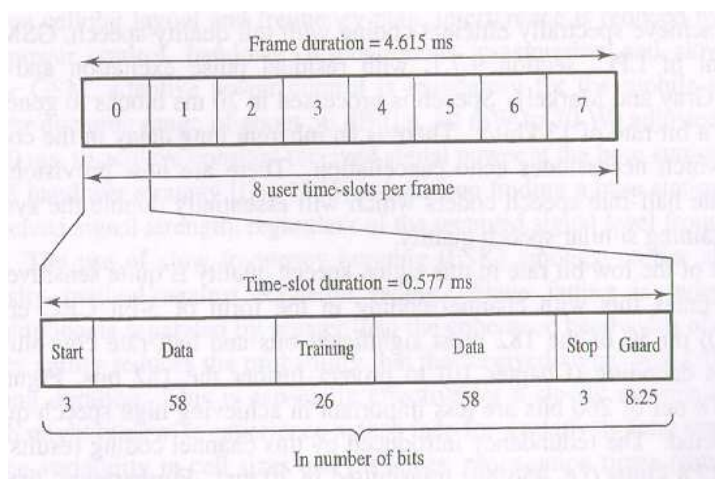
- Το JDC στην Ιαπωνία.
- Το TDMA μπορεί εύκολα να υποστηρίξει ολοκληρωμένες υπηρεσίες εφαρμόζοντας την πολιτική της ευέλικτης αντιστοίχισης σχισμών. Ωστόσο, και αυτό πάσχει από το ίδιο πρόβλημα μη αποτελεσματικότητας, όπως το FDMA.

Με απλούστερα λόγια οι μέθοδοι πολυπλεξίας μπορούν να προσεγγισθούν με το παρακάτω αντίστοιχο. Θεωρείστε ότι 6 άνθρωποι κάνουν συναλλαγές με μια τράπεζα μέσω μηχανήματος όλο το 24-ωρο. Υπάρχουν 3 διαφορετικές προσεγγίσεις για το πρόβλημα αυτό.

- ✓ Στην τράπεζα υπάρχουν 6 διαφορετικά μηχανήματα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί μοναδικά σε κάθε πελάτη. (Αντίστοιχο FDMA)
- ✓ Στην τράπεζα υπάρχει ένα μηχάνημα. Κάθε πελάτης έχει πρόσβαση στο μηχάνημα μόνο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέσα στην ημέρα. (Αντίστοιχο TDMA)
- ✓ Στην τράπεζα υπάρχει ένα μηχάνημα. Κάθε πελάτης έχει μία κάρτα με προσωπικό κωδικό. Με την κάρτα αυτή έχει πρόσβαση οποιαδήποτε στιγμή στο μηχάνημα. (Αντίστοιχο CDMA)

Υβριδικές Μέθοδοι

Φυσικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συνδυασμοί των παραπάνω μεθόδων, οι οποίες ονομάζονται υβριδικές μέθοδοι. Μία από αυτές τις υβριδικές μεθόδους, είναι και ο συνδυασμός δυο τεχνικών Πολυπλεξίας του CDMA και FDMA. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιώντας σαν βάση την Πολυπλεξία CDMA - που φαίνεται να κερδίζει τον αγώνα για την επικράτηση στις σύγχρονες κινητές επικοινωνίες - διαιρούμε την κυψέλη σε τρεις ομόκεντρες ζώνες. Κάθε μία από αυτές λειτουργεί σε μια διαφορετική συχνότητα (f_1 , f_2 , f_3), δηλαδή με την λογική της Πολυπλεξίας FDMA. Ο συνδυασμός αυτός, οδηγεί σε πολύ βελτιωμένα αποτελέσματα όσον αφορά την χωρητικότητα και τις γενικότερες επιδόσεις του συστήματος, σε σχέση με το κλασικό CDMA.



Σχήμα 9

Δομή Frame δεδομένων στο GSM σύστημα

Αφού εξετάσαμε τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά του GSM συστήματος κυψελωτής επικοινωνίας, έχει ενδιαφέρον να δούμε την μορφή που έχουν τα δεδομένα που στέλνουν οι χρήστες στο σύστημα. Οι χρήστες του GSM στέλνουν τα δεδομένα τους με την μορφή καταγισμών (bursts) σε καθορισμένες χρονικές σχισμές, που έχουν ανατεθεί στον καθένα. Υπάρχουν 5 διαφορετικές μορφές

bursts χρηστών. Εδώ θα ασχοληθούμε με τον κανονικό τύπο burst δεδομένων. Ο τύπος αυτός έχει την παρακάτω δομή για κάθε ένα από τα frames του TDMA που χρησιμοποιεί το GSM:

Σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα το data burst ενός χρήστη του GSM αποτελείται από 148 bits, τα οποία μεταδίδονται με ρυθμό ίσο με $156.25 \text{ bits}/0.577 \text{ ms} \approx 270.797 \text{ kbps}$, εκ των οποίων τα 8.25 χρησιμοποιούνται για τον χρόνο προστασίας (guard time) μεταξύ των μεταδόσεων διαφορετικών χρηστών. Από αυτά τα 148 bits, τα 114 είναι bits πληροφορίας, τα οποία χωρίζονται σε δύο ακολουθίες των 57 bits η καθεμία, οι οποίες βρίσκονται αντίστοιχα κοντά στην αρχή και στο τέλος του burst. Η training ακολουθία των 26 bits χρησιμοποιείται από τον ισοσταθμιστή που βρίσκεται στον δέκτη του κινητού ή του σταθμού βάσης για να αναλύσει τα χαρακτηριστικά του καναλιού που χρησιμοποιείται για την μετάδοση, προτού αποκωδικοποιήσει τα δεδομένα του χρήστη. Τέλος σύμφωνα με το σχήμα παρατηρούμε ότι κάθε frame αποτελείται από 8 χρονικές σχισμές και έχει περίοδο ίση με 4.615 ms. Επίσης αποτελείται συνολικά από $8 \times 156.25 = 1250 \text{ bits}$, και ο ρυθμός των frames είναι ίσος με $270.797 \text{ kbps}/1250 \text{ bits/frame} \approx 216.63 \text{ frames/sec}$. Συνήθως το 13ο ή το 26ο frame δεν χρησιμοποιείται για να μεταφέρει κίνηση στο δίκτυο αλλά για σκοπούς ελέγχου του συστήματος.

Συστήματα ασύρματης επικοινωνίας τρίτης γενιάς – Περιγραφή του UMTS

Τέλος, κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, αξίζει να αναφέρουμε κάποια επιπλέον στοιχεία για τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας της τρίτης γενιάς, τα οποία έχουν αρχίσει να σχεδιάζονται και πρόκειται να αντικαταστήσουν τα συστήματα που υπάρχουν σήμερα μέσα στην επόμενη δεκαετία. Στόχος αυτών των συστημάτων είναι να παρέχουν ένα μοναδικό σύνολο από πρότυπα, τα οποία μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα ασύρματων εφαρμογών και να παρέχουν καθολική πρόσβαση σε ολόκληρο τον κόσμο. Στα συστήματα τρίτης γενιάς θα καταργηθούν οι διακρίσεις που υφίστανται σήμερα μεταξύ των ασύρματων τηλεφώνων (cordless telephones) και των κινητών τηλεφώνων (cellular telephones) και θα δημιουργηθεί μια παγκόσμια συσκευή προσωπικής επικοινωνίας (ένα προσωπικό τηλέφωνο), η οποία θα παρέχει πρόσβαση σε μια ποικιλία από υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, ακόμα και video. Επίσης με χρήση του δικτύου B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) θα παρέχουν πρόσβαση σε δίκτυα πληροφοριών, όπως είναι το Internet, αλλά και σε άλλες δημόσιες ή ιδιωτικές βάσεις δεδομένων, ενώ θα λειτουργούν τόσο σε πυκνοκατοικημένες όσο και σε αραιοκατοικημένες περιοχές με τον ίδιο τρόπο και θα παρέχουν υπηρεσίες τόσο σε στατικούς χρήστες όσο και σε κινητούς χρήστες, οι οποίοι ταξιδεύουν με υψηλές ταχύτητες.

Αντιπροσωπευτικό σύστημα αυτής της τρίτης γενιάς συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), το οποίο αναφέραμε εν συντομία και στο πρώτο μέρος της διάλεξης. Πρόκειται για το ευρωπαϊκό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο αναπτύχθηκε από την RACE (R&D σε προχωρημένες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών στην Ευρώπη) με σκοπό να παρέχει μια ποικιλία από κινητές υπηρεσίες σε μια ευρεία κλίμακα από παγκόσμια πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών. Για τον χειρισμό αυτού του κυκλοφοριακού μείγματος δεδομένων, το UMTS χρησιμοποιεί ένα σύνθετο σχέδιο με cells, το οποίο αποτελείται από:

- Δορυφορικά (satellite) cells, τα οποία παρέχουν κάλυψη σε ολόκληρες χώρες.

- Macrocells, τα οποία καλύπτουν περιοχές σε ακτίνα μέχρι και 30 km.
- Minicells, τα οποία καλύπτουν μια περιοχή σε ακτίνα περίπου 3 km.
- Microcells, τα οποία καλύπτουν μερικούς δρόμους.
- Picocells, τα οποία καλύπτουν για παράδειγμα τους χώρους ενός γραφείου, ενός τρένου ή ενός αεροπλάνου.

Η δομή αυτή του UMTS του επιτρέπει να διοχετεύει την τοπική κίνηση στο δίκτυο. Μέσω των micro και των pico cells, ενώ για την κίνηση των χρηστών που παρουσιάζουν υψηλή κινητικότητα με μεγάλες ταχύτητες χρησιμοποιεί τα macrocells, μειώνοντας επιπλέον τον αριθμό των handoffs που απαιτούνται για την μεταφορά δεδομένων όταν έχουμε μεγάλες ταχύτητες κίνησης.

Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής του UMTS, η οποία χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενες κυψέλες, είναι η μειωμένη αποδοτικότητά της σε ότι αφορά την χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η ασύρματη κάλυψη που παρέχει η αρχιτεκτονική αυτή γίνεται με την χρήση ενός δικτύου από σταθμούς βάσης, οι οποίοι διασυνδέονται μεταξύ τους και με ένα κέντρο ανταλλαγής με το σταθερό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό διατηρεί μια σταθερή πληροφορία για την τοποθεσία κάθε κινητού χρήστη σε αυτό. Η πληροφορία αυτή θα ενημερώνεται από ένα τερματικό, όποτε αλλάζει μια περιοχή τοποθεσίας (location area), η οποία θα αποτελείται από ένα cluster από cells. Η επιλογή της νέας περιοχής τοποθεσίας θα καθοριστεί μόλις το κινητό αρχίσει να λαμβάνει ένα διαφορετικό μήνυμα εκπομπής από τον σταθμό βάσης. Τέλος το δίκτυο του UMTS χρησιμοποιεί την βάση δεδομένων ενός κατακευματισμένου δικτύου, με σκοπό να δρομολογεί τις κλήσεις από τη στιγμή που έχει βρεθεί η ακριβής τοποθεσία του κινητού χρήστη [2]-[4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται το σύνολο των ακτινοβολιών που μεταφέρουν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή τοπικών και χρονικών μεταβολών του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία καλύπτουν ένα αχανές φάσμα συχνοτήτων, το οποίο διαιρείται σε ζώνες, ανάλογα με τον τρόπο της παραγωγής ή της χρήσης τους. Αν και η περιοχή άνω των 300 GHz έχει μελετηθεί αρκετά (ακτίνες χ, ακτίνες γ), εντούτοις οι βιολογικές επιδράσεις των στατικών πεδίων και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέχρι 300 GHz αγνοήθηκαν για πολλά χρόνια εντελώς, πράγμα ιδιαίτερα άσχημο, αφού ο άνθρωπος δέχεται καθημερινά τέτοιου είδους ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή λέγεται μη ιονίζουσα, αφού δεν είναι ικανή να ιονίσει άτομα. Χαρακτηριστικές πηγές τέτοιας ακτινοβολίας είναι τα τηλεφωνικά καλώδια, τα σύρματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι πομποί ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων, οι πομποί ραντάρ, όλες οι ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού, οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις θέρμανσης, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι ηλεκτρικές κουβέρτες κ.α. Την πεποίθηση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο τη συναντάμε στην προσπάθεια του Ιπποκράτη να θεραπεύσει όγκους στο στήθος με έκθεση του ασθενούς στην Η/Μ ακτινοβολία (ηλιοθεραπεία). Το 18^ο αιώνα ξεκινά μια συστηματική προσπάθεια θεραπείας όγκων, ανευρυσμάτων και αιμορραγιών διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στους προσβεβλημένους ιστούς, ενώ το 19^ο αιώνα οι προσπάθειες αυτές επεκτείνονται και είναι γνωστές οι θεραπείες του d' Arsonval, ο οποίος ξεπερνώντας το στάδιο της άμεσης ηλεκτρικής επαφής σε ιστούς, πρωτοπόρησε προχωρώντας σε πειράματα αυτεπαγωγής τοποθετώντας τους ασθενείς στα περιβόητα πηνία ή κρεβάτια του, που σώζονται στο μουσείο Welcome του Λονδίνου. Μεταξύ των ετών 1894-95, ο d' Arsonval πραγματοποίησε 2.500 τέτοιες θεραπείες των 20 λεπτών, με ρεύματα μέχρι και 450mA. Οι περισσότεροι τύποι υστεριών και νευραλγιών δεν παρουσίασαν βελτίωση. Αντίθετα η κατάσταση των ασθενών με ρευματικές παθήσεις και αρθριτικά βελτιώθηκε σημαντικά. Πραγματοποιήθηκαν και άλλα τέτοια πειράματα με υψίσυχνα ρεύματα. Οι αναζητήσεις για ευεργετικές επιδράσεις των υψίσυχνων ρευμάτων συνεχίστηκαν ώσπου το 1926, η ιατρική άρχισε να χρησιμοποιεί τις ραδιοσυχνότητες στις εγχειρίσεις ευαίσθητων οργάνων όπως ο εγκέφαλος, το συκώτι, ο προστάτης, κ.ά. για την αντιμετώπιση των αιμορραγιών και τον έλεγχο βλαβερών πολλαπλασιασμών των κυττάρων.

Όταν ανακαλύφθηκε το ραντάρ την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, το οποίο λειτουργεί στη μικροκυματική περιοχή συχνοτήτων (GHz) και εκπέμπει ισχυρές κατευθυντικές δέσμες, δημιουργήθηκαν οι πρώτες ανησυχίες για πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον άνθρωπο. Μετά το τέλος του πολέμου άρχισαν τα πρώτα πειράματα σε κουνέλια, όταν

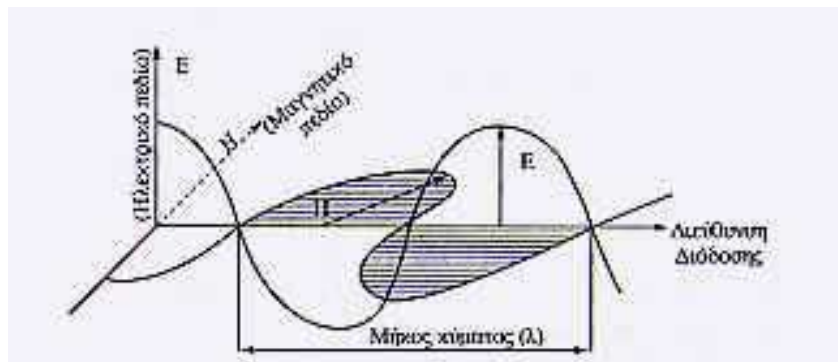
δέχθηκαν στα μάτια δέσμη μικροκυμάτων πυκνότητας ισχύος 3000 mW/cm^2 . Αρχές του 1950 τα 100 mW/cm^2 θεωρούνται γενικά καταστροφικά και προτείνεται ως όριο ασφαλείας τα $0,1 \text{ mW/cm}^2$. Όμως, το 1955 θεσπίζονται στις ΗΠΑ ως όριο ασφαλείας τα 10 mW/cm^2 , όριο που ασπάζονται 14 χώρες, μεταξύ των οποίων όλα τα μέλη του NATO. Το 1960 έγινε γνωστό στις ΗΠΑ ότι το όριο ασφαλείας των Σοβιετικών ήταν $10 \mu\text{W/cm}^2$ δηλ. 1000 φορές μικρότερο από το Δυτικό όριο! Ο λόγος ίσως να είναι ότι οι Σοβιετικοί μελετούσαν συστηματικά τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ήδη από τη δεκαετία του 1930! Παράλληλα στις Η.Π.Α πληθαίνουν κάποιες μελέτες που συσχετίζουν την εμφάνιση ασθενειών με την έκθεση σε Η/Μ πεδία χαμηλών συχνοτήτων. Σήμερα, οι εργασίες με αυτό το θέμα βρίσκονται στην αιχμή της επιστημονικής έρευνας. Αυτό γιατί από τη μία μεριά η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας οδηγεί σε μεγαλύτερη χρήση τέτοιων πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και από την άλλη οι κοινωνίες των ενημερωμένων πολιτών επιτάσσουν την ορθολογική χρήση των επιστημονικών επιτευγμάτων.

Ο τεράστιος όγκος εργασιών που υπάρχει ήδη πάνω σ' αυτό το θέμα επιτρέπει την εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων. Ωστόσο, θα χρειαστούν δεκαετίες ακόμα εντατικής έρευνας ώστε να αποκτηθεί επαρκής γνώση των συνεπειών της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, ανάλογη με εκείνη της ιονίζουσας.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΜΕΓΕΘΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Ορισμοί βασικών εννοιών και μεγεθών

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε τον χώρο μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία. Αντίστοιχα, το μαγνητικό πεδίο είναι χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) είναι το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του. Το αντίστοιχο εκφράζει η ένταση του μαγνητικού πεδίου (B). Τα πεδία αυτά, ανάλογα με τις εντάσεις τους E ή B, χαρακτηρίζονται σαν στατικά (όταν οι εντάσεις τους είναι χρονικά σταθερές), μεταβαλλόμενα και εναλλασσόμενα (όταν οι εντάσεις αλλάζουν μέτρο και φορά -ή αλλιώς πολικότητα- σε σχέση με τον χρόνο).



Σχήμα 10

Τα ηλεκτρικά φορτία όταν ταλαντώνονται παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία είναι τοπικές και χρονικές μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Τα παραγόμενα από τις

συνήθεις ηλεκτρονικές διατάξεις ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αρμονικά, διαδίδονται δηλαδή κατά επίπεδα μέτωπα, πράγμα που σημαίνει ότι οι εντάσεις E και B μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας τον νόμο του ημίτονου. Στα επίπεδα κύματα, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους και παίρνουν συγχρόνως την μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή τους (συμφασικά).

Η απόσταση μέσα στην οποία τα E και B συμπληρώνουν μια πλήρη εναλλαγή λέγεται μήκος κύματος (λ), ενώ ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών στην μονάδα του χρόνου (1s) ονομάζεται συχνότητα (ν), του κύματος. Η σχέση $\nu = \lambda \cdot \nu$ είναι η συνδετική σχέση μεταξύ των λ και ν , όπου ν είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή $\nu = 300.000\text{km/s}$. Η συχνότητα παίζει μεγάλο ρόλο στις μετρήσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σε συχνότητες 0-500 Hz, τα E και B είναι ασύνδετα. Έτσι, είμαστε αναγκασμένοι σε τόσο χαμηλές συχνότητες να μετράμε την ένταση και των δυο πεδίων. Σε συχνότητες όμως πάνω από 3 MHz (υψηλές συχνότητες), τα E και B συνδέονται με απλές σχέσεις μεταξύ τους, όπως και με την πυκνότητα ισχύος P (δηλαδή την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας). Έτσι, στις υψηλές συχνότητες αρκεί η μέτρηση ενός μόνο εκ των δυο για τον προσδιορισμό και του άλλου όπως επίσης για την πυκνότητα ισχύος. Λόγω των παραπάνω, τα όρια επικινδυνότητας που παρουσιάζονται στη συνέχεια δίνονται για τις χαμηλές μεν συχνότητες με τις τιμές των E και B , για τις υψηλές, δε, με την τιμή της πυκνότητας ισχύος.

Μονάδες Μέτρησης

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν, καθώς και οι μονάδες μέτρησής τους:

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου	E	Volts/meter (V/m)
Ένταση Μαγνητικού Πεδίου	B	Tesla (T) ή Gauss (G) *
Μήκος κύματος	λ	Meter (m)
Συχνότητα	ν ή f	Hertz (Hz)
Ισχύς	N	Watt (W)
Πυκνότητα ισχύος	P ή S	Watt/(meter) ² (W/m ²)
Χρόνος	t	Second (s)

* Η σχέση μετατροπής Tesla σε Gauss είναι η εξής: $1\text{T} = 10000\text{G}$

Συχνά, ωστόσο, χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια κάποιων μονάδων. Αυτό δηλώνεται με το κατάλληλο πρόθεμα στη μονάδα μέτρησης. Θα χρησιμοποιήσουμε τα εξής προθέματα:

Milli	10^{-3}	π.χ. : $1\text{mm} = (1/1000)\text{m}$
Micro	10^{-6}	$1\mu\text{A} = (1/1000000)\text{A} = 10^{-6}\text{A}$
Nano	10^{-9}	$1\text{nT} = (1/1000000000)\text{T} = 10^{-9}\text{T}$
Pico	10^{-12}	$1\text{ps} = (1/1000000000000)\text{s} = 10^{-12}\text{s}$
Kilo	10^3	$1\text{KW} = 1000\text{W}$

Mega	10^6	1MHz=1000000Hz= 10^6 Hz
Giga	10^9	1GHz=1000000000Hz= 10^9 Hz

Φυσικά και τεχνητά Η/Μ πεδία

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πεδία τα οποία προέρχονται από την ίδια την φύση και τα οποία δεν μπορούν να αποφευχθούν από τους ζωντανούς οργανισμούς. Η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε στατική ή μη στατική. Για παράδειγμα, μεταξύ της ιονόσφαιρας και της γης υπάρχει φυσικό ηλεκτρικό στατικό πεδίο το οποίο κυμαίνεται, σε συνθήκες καλοκαιρίας, από 0,1 KV/m έως 0,5 KV/m, ενώ σε συνθήκες καταιγίδας το ίδιο πεδίο παίρνει τιμές από 3 KV/m - 20 KV/m. Αντίστοιχα, το γήινο μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από 0,31 έως 0,62 Gauss. Κατά τις εκλάμψεις του ήλιου το μαγνητικό πεδίο της γης μπορεί να μεταβληθεί ως και 0.03 Gauss, οπότε έχουμε τις λεγόμενες μαγνητικές καταιγίδες. Εκτός από τα στατικά της πεδία, η γη δέχεται και την επίδραση ηλιακών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο ήλιος κατά την διάρκεια των εκλάμψεών του (εντεκάχρονης περιοδικότητας) εκπέμπει ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, το ορατό φως, το υπεριώδες και φτάνει μέχρι και την περιοχή των ακτινών Roentgen.

Από πολύ παλιά, υπήρχε η υπόνοια ότι η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει την ψυχική διάθεση των ανθρώπων αλλά και την εξέλιξη ασθενειών. Την παραπάνω υπόνοια έρχεται τώρα να την επιβεβαιώσει η ίδια η επιστήμη με την έρευνα της πάνω στις βιολογικές επιδράσεις κατά την περίοδο ηλιακών εκρήξεων. Έτσι, σε μια περίοδο ενός περίπου αιώνα, μελετήθηκαν τα κρούσματα περιοδικού ή κυματοειδούς πυρετού στο Ευρωπαϊκό τμήμα της Σ. Ένωσης, και τα κρούσματα μηνιγγίτιδας στη Νέα Υόρκη. Από την μελέτη προέκυψε ότι ο αριθμός των κρουσμάτων μεγιστοποιείται στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (11ετούς περιοδικότητας), με μεγαλύτερη έξαρση το 1910, όπου η ηλιακή δραστηριότητα παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα για αρκετό καιρό.

Τα ατμοσφαιρικά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ο ίδιος μας ο εγκέφαλος. Μια βασική φασματική ανάλυση του ανθρώπινου εγκεφαλογραφήματος αναδεικνύει περιοχές συχνοτήτων των οποίων οι τιμές είναι κοντινές στις τιμές συχνοτήτων των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων. Έτσι δικαιολογείται η ευαισθησία του εγκεφάλου στα συμβάντα αυτά. Αυτό έχει αποδειχθεί από πειράματα μέτρησης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων στον χρόνο αντίδρασης οδηγών αυτοκινήτων στα φωτεινά σήματα της τροχαίας. Ο άνθρωπος, πέρα από την επιβάρυνση που δέχεται από τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, έχει να αντιμετωπίσει και τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία έχει δημιουργήσει ο ίδιος. Αυτά τα πεδία καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Το κυριότερο από τα τεχνητά πεδία που μας περιβάλλει είναι αυτό του δικτύου της Δ.Ε.Η. το οποίο είναι 50 Hz. Πέρα όμως από το πεδίο των 50 Hz, στο οικιακό περιβάλλον έχουν προστεθεί πεδία υψηλότερων συχνοτήτων της τάξης των MHz από τους υπολογιστές και τους φούρνους μικροκυμάτων.

Άλλα πεδία στα οποία εκτιθέμεθα στην καθημερινή μας ζωή είναι αυτά των ραδιοηλεκτρονικών σταθμών (300 KHz - 500 MHz), των σταθμών κινητής τηλεφωνίας (900 MHz), και των σταθμών ραντάρ και δορυφορικών επικοινωνιών (της τάξεως των GHz). Στην ενότητα αυτή θα μελετηθούν οι βιολογικές επιδράσεις αυτών των τεχνητών Η/Μ πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Βιολογική δράση των Η/Μ κυμάτων

Όταν τα Η/Μ κύματα συναντούν ένα εμπόδιο τότε μπορεί μέρος αυτών να ανακλαστεί, να διαθλαστεί, να διαδοθεί μέσω του αντικείμενου ή να απορροφηθεί από το αντικείμενο. Ποια από όλες αυτές τις διαδικασίες θα επικρατήσει και σε τι ποσοστό, εξαρτάται από τη συχνότητα του Η/Μ κύματος, τη γωνία πρόσπτωσης, από το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρισμού είναι το αντικείμενο και ακόμη από το σχήμα του αντικείμενου. Στο σώμα του ανθρώπου, που έχει μέτρια, αγωγιμότητα, μπορεί να συμβούν όλα τα παραπάνω. Όπως κάθε μορφή ενέργειας έτσι και η ενέργεια που μεταφέρεται από τα ραδιοκύματα είναι δυνατόν να επιδρά σε βιολογικά συστήματα, το τελικό δε αποτέλεσμα μπορεί να είναι επιβλαβές σε διάφορο βαθμό ή μπορεί ακόμη να είναι και ευεργετικό. Αυτό εξαρτάται από τις συνθήκες έκθεσης (συχνότητα, πυκνότητα ισχύος, είδος κυματομορφής, διάρκεια έκθεσης κλπ) καθώς επίσης και από ορισμένους βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα ή με βιολογικά συστήματα συντελείται μέσω κάποιων φυσικών μηχανισμών που ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων είναι δυνατόν να προκαλέσουν διέγερση κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού ή να προκαλέσουν θέρμανση του σώματος ή των οργάνων. Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν σχέση με την επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στο σώμα του ατόμου που είναι εκτεθειμένο σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και με την απορρόφηση ενέργειας γενικότερα.

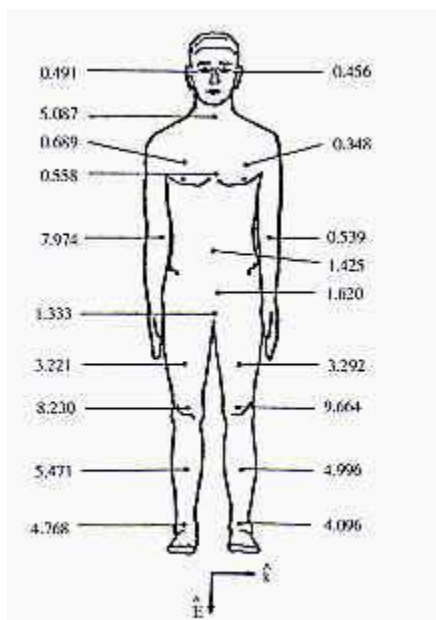
Θερμικές και μη θερμικές επιδράσεις

Θερμικές επιδράσεις

Θερμικές ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβολίας. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1 mW/cm^2 . Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που -κατά κύριο λόγο- αποτελούν το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες. Όπως έχει προαναφερθεί, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο ή σε μια περιοχή είναι η πυκνότητα ισχύος η οποία εκφράζεται συνήθως σε mW/cm^2 . Η πυκνότητα ισχύος όμως, μας πληροφορεί έμμεσα μόνο για την ποσότητα ενέργειας που θα απορροφήσει το σώμα μας, όταν βρεθεί στο ακτινοβολούμενο σημείο.

Ουσιαστικά είναι ένα μέτρο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα σημείο, πριν βρεθούμε σ' αυτό. Το σώμα μας, όμως, θα απορροφήσει ένα μέρος μόνο της ενέργειας αυτής και μάλιστα όχι απαραίτητα ομοιόμορφα. Η μέση τιμή ενεργείας που απορροφάται από ολόκληρο το σώμα εκφράζεται από το δοσιμετρικό όρο “Specific Absorption Rate” (SAR) και σημαίνει την ισχύ που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος (W/Kg). Ο SAR είναι ένα μέγεθος που εκτός από τη συχνότητα της ακτινοβολίας και την αγωγιμότητα των ιστών εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η “ένταση” του πεδίου, ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος, το μέγεθος του σώματος κ.α. (συνθήκες έκθεσης).

Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού (H₂O) αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο με θετικό φορτίο μεταξύ των δύο ατόμων υδρογόνου και με αρνητικό στην άλλη άκρη του όπου βρίσκεται το άτομο του οξυγόνου. Έτσι λοιπόν όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, που είναι δίπολα, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου είναι μεγαλύτερη τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν. Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36-37⁰C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 βαθμών.



Σχήμα 11

Επίσης είναι ευνόητο ότι αυτοί οι μηχανισμοί θα ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κλπ.). Κάτω από τέτοιες συνθήκες ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε Η/Μ ακτινοβολία είναι σε θέση να αντιμετωπίσει

απορροφημένη ισχύ (SAR) μέχρι 4 W/Kg (κατά μέσο όρο σ' όλο το σώμα) χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.

Ενδεικτικά μόνο αναφέρεται ότι η τιμή SAR = 4 W/Kg μπορεί να προκύψει, υπό ορισμένες συνθήκες έκθεσης, από ένα πεδίο που έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 10mW/cm^2 . Η απορρόφηση όμως, της Η/Μ ακτινοβολίας δε γίνεται ομοιόμορφα. Έτσι οι τιμές SAR μπορεί να έχουν μεγαλύτερη τιμή σε κάποιες περιοχές από ό,τι στο υπόλοιπο σώμα. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά, συγκριτικά με άλλες περιοχές του σώματος, είναι ανάλογη με την ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας.

Μη θερμικές επιδράσεις

Οι μη θερμικές επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (της τάξης των λίγων $\mu\text{W/cm}^2$), ώστε να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

Η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει τη διέγερση κυττάρων του μυϊκού και νευρικού ιστού, που ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτά προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα.

Οι επιδράσεις που χαρακτηρίζονται ως αθερμικές συμβαίνουν συνήθως για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz. Αθερμικές επιδράσεις μπορεί να έχουμε και σε υψηλότερες συχνότητες, εφόσον οι τιμές SAR είναι μικρότερες από τα όρια. Για να φτάσουμε στο κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων, απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν παρατηρηθεί όμως, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στη θερμοκρασία και για τις τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο. Σύμφωνα με τις μέχρι σήμερα επιστημονικές γνώσεις δεν είναι σαφής ο τρόπος με τον οποίο οι αθερμικές επιδράσεις αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρ' όλα αυτά όμως, έχει προταθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή μπορεί να θεσπιστούν όρια ασφαλείας για τις αθερμικές επιδράσεις.

Οι βιολογικές επιδράσεις της μη ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας

Λόγω έλλειψης ικανού αριθμού αλλά και ομοιομορφίας στην οργάνωση των υφιστάμενων επιδημιολογικών ερευνών, οι απόψεις όσον αφορά τις βιολογικές επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας στον άνθρωπο δίσταται. Φυσικά είναι κατανοητό ότι άμεσα πειράματα επί ανθρώπινων πληθυσμών είναι ηθικώς απαράδεκτα, όμως υπάρχει πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών για τέτοια πειράματα σε πειραματόζωα. Παρόλο που η άμεση γενίκευση των παρατηρήσεων αυτών στον άνθρωπο δεν είναι επιτρεπτή λόγω των ανατομικών, φυσιολογικών και άλλων διαφορών που υπάρχουν, θεωρούμε χρήσιμη την αναφορά των σπουδαιότερων από αυτών.

Επιδράσεις στους οφθαλμούς

Συνήθως η έρευνα για καταρακτογένεση αφορά απλές ή πολλαπλές οξείες εκθέσεις σε Η/Μ ακτινοβολίες με πυκνότητα ισχύος $80\text{-}500\text{mW/cm}^2$. Έχει παρατηρηθεί θόλωση του φακού του ματιού σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν τοπικά με συχνότητες ισχύος πάνω από 100mW/cm^2 .

Μικρότερες τιμές της πυκνότητας ακτινοβολίας δεν προκαλούν οποιοδήποτε φαινόμενο στους οφθαλμούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η έκθεση ολόκληρου του σώματος σε παρόμοιες τιμές πυκνότητας ισχύος θα ήταν θανατηφόρα. Έχουν αναφερθεί επίσης οφθαλμικές μεταβολές οφειλόμενες στην Η/Μ ακτινοβολία για χαμηλές πυκνότητες ισχύος, 7-13mW/cm² στα 2.45GHz, πάντα σε πειραματόζωα, για περιόδους 8 ωρών ανά ημέρα, 5 ημέρες ανά εβδομάδα και για 7-18 εβδομάδες.

Ακουστικό φαινόμενο

Άνθρωποι εκτιθέμενοι σε οξείς μικροκυματικούς παλμούς αναφέρουν ότι ακούν υπόκωφο ήχο με συχνότητα ίση προς την συχνότητα επανάληψης των παλμών.

Το φαινόμενο έχει εξηγηθεί με τη δημιουργία ακουστικών κυμάτων λόγω θερμοελαστικής διαστολής της εγκεφαλικής ουσίας υπό την έκθεση σε παλμική μικροκυματική ακτινοβολία. Το παραπάνω φαινόμενο είναι αντιπροσωπευτικό των μικροκυματικών επιδράσεων χαμηλής ισχύος και θεωρείται περισσότερο ως φαινόμενο παρά ως κίνδυνος για την υγεία.

Εκροή ασβεστίου

Αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου ⁴⁵Ca²⁺ έχει παρατηρηθεί σε απομονωμένους εγκεφαλικούς αλλά και καρδιακούς ιστούς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε ημιτονοειδώς διαμορφωμένα Η/Μ πεδία. Τα ιόντα του ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μεταφορική σύζευξη (transduktive coupling) μιας μεγάλης γκάμας ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευρολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης των κυττάρων. Το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από την συχνότητα διαμόρφωσης και την πυκνότητα ισχύος της χρησιμοποιούμενης Η/Μ ακτινοβολίας. Το φαινόμενο της εκροής ιόντων ασβεστίου από τους ιστούς είναι από τις σημαντικότερες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων λόγω των χαμηλών τιμών πυκνοτήτων ισχύος που απαιτούνται και αξίζει περαιτέρω μελέτης ιδιαίτερα στις περιοχές των ιδιοσυχυοτήτων των κρανιακών κοιλοτήτων, όπου η παρεχόμενη ενέργεια στα κύτταρα (κυρίως του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος) είναι αυξημένη.

Φαινόμενα συνεργίας με φάρμακα

Αν και οι έρευνες στον τομέα αυτό είναι μάλλον ανεπαρκείς, έχει αναφερθεί δράση παλμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας με ψυχοφάρμακα (π.χ αμφεταμίνες) σε ποντικούς. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε διαφορά στην αντίδραση στην ίδια δόση του φαρμάκου όταν τα πειραματόζωα ακτινοβολούνταν με 1mW/cm². Το φαινόμενο απαιτείται να εξεταστεί περαιτέρω.

Επιδράσεις στη συμπεριφορά

Η αλλαγή συμπεριφοράς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε Η/Μ ακτινοβολία βρέθηκε να είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται στις χαμηλότερες τιμές κατωφλίων από όλες τις υπόλοιπες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων. Τα όρια αυτά βρέθηκαν σε γενικές γραμμές να έχουν τιμές 4-8W/kg ανεξάρτητα από τη συχνότητα τη διαμόρφωση, την μέση ισχύ ή τον τρόπο που γινόταν η έκθεση. Οι αλλαγές συμπεριφοράς περιελάμβαναν αλλαγές στην ποσότητα προσλαμβανομένης τροφής αλλά και του παραγόμενου έργου από τα πειραματόζωα σε ειδικούς τροχούς μέσα στα κλουβιά.

Γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες

Δεν είναι ξεκάθαρο αν δημιουργούνται τέτοιες ανωμαλίες για SAR 1W/kg. Κάποιες δημοσιεύσεις αναφέρονται σε επιδράσεις στην ενδομήτρια ανάπτυξη των εμβρύων αλλά και στην μετά τον τοκετό

ανάπτυξη των παιδιών των οποίων οι μητέρες εκτέθηκαν σε υψηλές τιμές Η/Μ ακτινοβολίας. Οι επιδράσεις αυτές εξηγήθηκαν ως οφειλόμενες στην τοπική άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος της μητέρας ως αποτέλεσμα της απορρόφησης Η/Μ ενέργειας και υπέρβασης των ορίων για τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές του SAR. Τέλος, με τον ίδιο τρόπο, δηλ. υπερβολική τοπική θέρμανση, εξηγήθηκαν και οι δυσλειτουργίες που παρατηρήθηκαν στους όρχεις.

Βιολογικές αλληλεπιδράσεις υπό χρόνια ηλεκτρομαγνητική έκθεση

Επίσης και στην περίπτωση αυτή είναι ανεπαρκής η έρευνα λόγω κόστους αλλά και λόγω δυσκολίας στην αδιαμφισβήτητη εκλογή των σωστών παραμέτρων για χρόνια έκθεση. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα των έως τώρα μελετών και πειραμάτων συμφωνούν στη διατύπωση ότι δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες στατιστικές μεταβολές από τις μέσες τιμές στην πρόσληψη τροφής και νερού ή την κινητικότητα των πειραματόζωων, δεν μεταβλήθηκαν συνολικά τα αιματολογικά χαρακτηριστικά τους και ούτε βρέθηκαν υπό κατάσταση στρες. Αλλαγή στην συμπεριφορά παρουσιαζόταν μόνο αμέσως μετά την παύση της έκθεσης στην ακτινοβολία και αυτό ερμηνεύτηκε ως προσπάθεια αντιμετώπισης της διαφοράς στο θερμικό φορτίο.

Πειράματα εξομοίωσης του ανθρώπινου οργανισμού

Έχουν γίνει προσπάθειες από ερευνητές να γίνουν θεωρητικοί υπολογισμοί του SAR χρησιμοποιώντας απλά θεωρητικά μοντέλα που εξομοιώνουν είτε το ανθρώπινο κεφάλι είτε ολόκληρο το σώμα. Στα στατιστικά ηλεκτρομαγνητικά μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν, ευρέθηκε η κατανομή του SAR σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος (π.χ κεφάλι) και το αποτέλεσμα των αναλύσεων αυτών έδειξε ότι η προβλεπόμενη τιμή του SAR υπερβαίνει την μέση επιτρεπτή τιμή του όλου σώματος. Αλληλεπιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας έχουν επίσης αναφερθεί στο ανοσοποιητικό σύστημα, στο νευρικό, στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και το αιματοποιητικό σύστημα. Σε κάθε περίπτωση όμως οι αλληλεπιδράσεις με τους βιολογικούς οργανισμούς παρατηρούνται για εντάσεις πεδίου που προκαλούν τιμές του SAR πολύ υψηλότερες από αυτές που έχουν τεθεί ως όρια ασφαλείας.

Οι μηχανισμοί των βιολογικών επιδράσεων

Είναι σήμερα γενικά αποδεκτό ότι, ο συντονισμός της λειτουργίας του τεράστιου αριθμού κυττάρων τα οποία αποτελούν έναν οποιοδήποτε ζωντανό οργανισμό, επιτυγχάνεται με την παραγωγή, από τα ίδια τα κύτταρα, ενός συστήματος ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που στηρίζουν το σύστημα ενδοεπικοινωνίας τους. Οι ζωντανοί ιστοί εκπέμπουν σύμφωνη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (δηλαδή φωτόνια της ίδιας φάσης), όπως εκείνη των λέιζερ. Τα κύτταρα, πριν το θάνατό τους, εκπέμπουν ένα κύκνειο άσμα με την μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού ενημερώνοντας, ίσως, το νευρικό σύστημα, ή τα γειτονικά κύτταρα, ώστε να αποβληθούν και να αντικατασταθούν. Σύμφωνα με την παλαιότερη αντίληψη, η λειτουργία του νευρικού συστήματος στηρίζεται σε ηλεκτρονικούς παλμούς που μεταδίδονται μεταξύ των νευρικών κυττάρων, στηρίζοντας ένα σύστημα σαν εκείνο του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι παλμοί των νευρικών κυττάρων είναι ισχυρότατοι, της τάξης των 1,5 MV/m. Η διαφορά δυναμικού V, εξάλλου, ανάμεσα στο εξωτερικό ηλεκτροθετικότερο τμήμα της κυτταρικής μεμβράνης και στο εσωτερικό ηλεκτραρνητικότερο τμήμα, ενώ είναι μικρή,

περίπου 100 mV, αντιστοιχεί εντούτοις σε μια τεράστια ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E , της τάξης των 50 MV/m, επειδή το πάχος 1 της κυτταρικής μεμβράνης είναι μόνον 5 nm (σύμφωνα με τη σχέση $E=V/l$). Συμπερασματικά, τα εσωτερικά πεδία του οργανισμού είναι τόσο ισχυρά, που θα έπρεπε να αποτελούν επαρκή ασπίδα των κυττάρων απέναντι στα εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, ο εγκέφαλος λειτουργεί όχι όπως ένας ψηφιακός (δυαδικός) ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά σαν ένας εξαιρετικά σύνθετος, μη γραμμικός ταλαντωτής, που παράγει τα δικά του ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (όπως εκείνα ανιχνεύονται στα εγκεφαλογραφήματα) και τα χρησιμοποιεί για να ολοκληρώσει τις λειτουργίες του και να επεξεργαστεί σήματα από τους αισθητήρες του (αισθήσεις). Έτσι, σήματα εισόδου από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε χωροχρονικές κυματομορφές συχνοτήτων χαρακτηριστικών του εγκεφάλου και στη συνέχεια αποθηκεύονται στα εγκεφαλικά κύτταρα. Όταν νέα σήματα εισέρχονται, διεγείρουν τα εγκεφαλικά κύτταρα και, μέσα από φαινόμενα συντονισμού με τις ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου, αναδεικνύουν τις αποθηκευμένες κυματομορφές και συντελούν στην απόκτηση συνειδητής εμπειρίας. Το μη γραμμικό στοιχείο δεν μπορεί να είναι άλλο από την κυτταρική μεμβράνη, που θα μπορούσε να συμπεριφέρεται σαν μια κρυσταλλοδίοδος, μετατρέποντας εναλλασσόμενα πεδία (ac) σε συνεχή (dc) ή ενισχύοντάς τα, όπως γίνεται με τους κοινούς ενισχυτές του εμπορίου. Έχει αποδειχθεί ότι το σύνολο των κυτταρικών μεμβρανών του εγκεφάλου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μεγάλη μεμβράνη-σύστημα ηλεκτρονικών δίπολων, που επηρεάζεται από την απουσία ή παρουσία ιόντων ασβεστίου. Η ισχυρή αυτή αλληλεπίδραση δίπολων και ιόντων αποτελεί το *έναυσμα* μη γραμμικών ταλαντώσεων με συντονισμούς στην περιοχή των συχνοτήτων ELF (0-300Hz), οπότε η μεγαλομεμβράνη λειτουργεί σαν ένας ενισχυτής ικανός να ενισχύσει οποιοδήποτε εξωτερικό πεδίο, που η συχνότητά του (ή κάποια αρμονική του) εμπίπτει στην περιοχή των ιδιοταλαντώσεών της. Για να τονιστεί η σημασία του φαινομένου, πρέπει να σημειωθεί ότι τα μεγαλομόρια του κυτταροπλάσματος συγκρατούνται στις θέσεις τους με τη βοήθεια ενός πλέγματος πολυμερών αλυσίδων-νηματίων, που η στερεότητά του εξασφαλίζεται από μόρια ασβεστίου. Το ασβεστόχο αυτό πλέγμα απουσιάζει από τα καρκινικά κύτταρα. Με την ακτινοβολία, το πλέγμα αυτό καταρρέει και το πλεονάζον ασβέστιο αποβάλλεται από τα κύτταρα, προδιαθέτοντάς τα, ίσως, στην νεοπλασία.

ΌΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Εισαγωγή

Τα όρια επικινδυνότητας πρέπει να τονιστεί ότι είναι όρια επικινδυνότητας και όχι όρια ασφαλείας, αφού μια οποιαδήποτε δόση ακτινοβολίας, οποιουδήποτε είδους και να είναι δεν μπορεί ποτέ να θεωρηθεί ασφαλής. Επίσης πρέπει να γίνει γνωστό ότι τα όρια επικινδυνότητας διαφέρουν από κράτος σε κράτος και από οργανισμό σε οργανισμό. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην διαφορετική εκτίμηση του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο είδος της ακτινοβολίας. Έτσι όσοι

δέχονται τις θερμικές επιδράσεις προτείνουν υψηλά όρια, ενώ όσοι πιστεύουν στις αθερμικές επιδράσεις προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια.

Τα όρια επικινδυνότητας με βάση τις θερμικές επιδράσεις (συχνότητες 30 KHz–300 GHz)

Οι επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από τον βαθμό απορρόφησης τους από τους διάφορους ιστούς. Έχουμε τρεις μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας από το κύμα στο ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του:

- διέγερση των ελευθέρων ηλεκτρονίων των ατόμων,
- εξαναγκασμένη πόλωση των ατόμων και μορίων των ιστών από το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος,
- ευθυγράμμιση υπαρχόντων δίπολων ατόμων ή μορίων με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένα ειδικό μέγεθος καθιερώθηκε για την μελέτη των επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το οποίο ονομάστηκε Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA, ή διεθνώς SAR (Specific Absorption Rate). Ο SAR ορίζεται ως το ποσό της κυματικής ενέργειας που απορροφά η μονάδα μάζας ενός ιστού στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε Watts ανά kg (W/kg) και διαφέρει για κάθε ιστό. Επίσης εξαρτάται από την συχνότητα του κύματος και τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με την διεύθυνση του ηλεκτρικού, E, και του μαγνητικού, B, πεδίου του κύματος. Ο τύπος υπολογισμού του SAR για ένα ζωικό ιστό πυκνότητας ρ (g/cm) και ειδικής θερμοκρασίας C (cal/g.grad), για ορισμένη συχνότητα και προσανατολισμό, είναι:

$$SAR = 4,166 \rho C \Delta T / \Delta t$$

Όπου Δt είναι ο χρόνος ακτινοβολήσης σε sec και ΔT η αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού σε βαθμούς Κελσίου (grad). Γενικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

- (α) Το ανθρώπινο σώμα απορροφά την κυματική ενέργεια κατά τρόπο εκλεκτικό, διαφορετικό δηλαδή για κάθε συχνότητα και είδος ιστού.
- (β) Μέγιστη δεκτικότητα κατά συχνότητα (συντονισμός), εμφανίζεται στην περιοχή από 30-300 MHz, όπου ο SAR παίρνει τις μέγιστες τιμές του.
- (γ) Μέγιστη απορρόφηση ανά είδος ιστού εμφανίζουν σημεία του σώματος όπως ο λαιμός, τα πόδια, οι αγκώνες και η κοιλιακή χώρα, όπου ο τοπικός SAR παίρνει τιμές πολύ μεγαλύτερες (έως και 10 φορές) από τον μέσο SAR ολόκληρου του σώματος. Συνεπώς τα σημεία αυτά πρέπει να εκτίθενται όσο γίνεται λιγότερο στην κυματική ενέργεια. Έτσι, με βάση μόνο τους θερμικούς μηχανισμούς, τα όρια επικινδυνότητας των Δυτικών Διεθνών Οργανισμών είναι τα εξής:

Ο μέγιστος αριθμός απορρόφησης κυματικής ενέργειας (SAR) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 0,4 W/Kg, αθροισόμενη κατά μέσο όρο μέσα σε οποιαδήποτε 6 λεπτά του εικοσιτετραώρου και για ολόσωμη έκθεση. Το κριτήριο αυτό διαμορφώθηκε με την προϋπόθεση ότι οι εργαζόμενοι σε ηλεκτρομαγνητικά βεβαρημένους χώρους είναι ενήμεροι των κινδύνων, λαμβάνουν μέτρα ασφαλείας και εκτίθενται μόνον για ένα οκτάωρο. Επειδή ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται σε 24ωρη βάση και δεν είναι ενημερωμένος, ώστε να λαμβάνει μέτρα ασφαλείας, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ρυθμού απορρόφησης, για τον γενικό πληθυσμό, ορίστηκε πέντε φορές μικρότερη, δηλαδή 0.08 W/Kg. Τα όρια επικινδυνότητας στις ραδιοσυχνότητες σύμφωνα με μερικούς οργανισμούς είναι τα εξής:

Όρια επικινδυνότητας της IRPA

Τα όρια αυτά θεωρούνται ως τα πιο έγκυρα στη Δύση και ακολουθούνται από πολλές χώρες ή οργανισμούς, αφού καθιερώθηκαν από την επιτροπή μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC) της Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association, IRPA) σε συνεργασία με το τμήμα περιβαλλοντικής υγείας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization, WHO), με την επιχορήγηση του ΟΗΕ (United Nations Environmental Program, UNEP).

Συχνότητα f (MHz)	Ηλεκτρικό πεδίο E σε V/m	Μαγνητικό πεδίο H σε A/m	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος P, σε mW/cm ²
0,1 – 1	614	1,6/f	-
> 1 - 10	614/f	1,6/f	-
> 10 - 400	61	0,16	1
> 400 - 2000	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	f/400
> 2000 - 300.000	137	0,36	5

Όρια επικινδυνότητας του ANSI

Είναι τα όρια του Αμερικανικού Ινστιτούτου Εθνικών Ορίων (American National Standards Institute), του επίσημου δηλαδή οργάνου της κυβέρνησης των ΗΠΑ. Τα όρια αυτά προέκυψαν με την υιοθέτηση, το 1992, από το ANSI των ορίων που καθιέρωσε η μεγαλύτερη παγκοσμίως επιστημονική ένωση IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), με την οδηγία IEEE C 95.1-1991.

Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η ευρωπαϊκή επιτροπή ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) ενέκρινε στις 30/11/94 το πειραματικό ευρωπαϊκό πρότυπο *ENV 50166 - 2* για την έκθεση ανθρώπων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 10kHz - 300GHz. Τρία χρόνια μετά την ημερομηνία αυτή η CENELEC θα έπρεπε να κρίνει αν θα καθιερωνόταν ως οριστικό πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (εν τω μεταξύ έχει την ισχύ ελληνικού προτύπου). Η απόφαση αυτή αναμένεται να εκδοθεί, αν και ήδη έχει διαρρεύσει σε επιστημονικά έντυπα.

Όρια επικινδυνότητας με βάση και τις μη θερμικές επιδράσεις (συχνότητες 300 KHz–300 GHz)

Τα όρια αυτά έχουν καθιερωθεί από την πρώην Σοβιετική Ένωση και τα κράτη του πρώην Συμφώνου Βαρσοβίας και ισχύουν μέχρι και σήμερα στις χώρες οι οποίες είναι ακόμα πιστές στις στους αθερμικούς μηχανισμούς επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα όρια αυτά είναι αισθητά αυστηρότερα από τα υπόλοιπα, αφού είναι έως και διακόσιες φορές μικρότερα από εκείνα των δυτικών χωρών.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ-ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Εισαγωγή

Πριν αναφερθούμε στο πιο σημαντικό, ίσως, θέμα της επιβάρυνσης από την Η/Μ ακτινοβολία που δημιουργεί το δίκτυο διανομής και χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος και επειδή το θέμα αυτό αφορά στο σύνολο των πολιτών και τον τελευταίο καιρό στη χώρα μας απασχολεί έντονα την κοινή γνώμη και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης θα θέλαμε να σημειώσουμε ξεχωριστά τα παρακάτω:

Οι μελέτες και οι ανακοινώσεις επιφανών επιστημόνων οδήγησαν το Αμερικανικό Εθνικό Συμβούλιο Προστασίας από τις Ακτινοβολίες (NCRP) να αναθέσει σε μεγάλου κύρους εμπειρογνώμονες την σύνταξη σχετικής μελέτης. Τον Ιούνιο του 1995 διέρρευσε η έκθεση της επιτροπής όπου εισηγείται για τα πεδία 0-3KHz (δηλαδή, ανάμεσα σε αυτά τα πεδία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των 50-60Hz) τα εξής: Τα όρια που ισχύουν σήμερα (μαγνητικό πεδίο 100 μ T και ηλεκτρικό πεδίο 5000 V/m) πρέπει να μειωθούν ως εξής (για το γενικό πληθυσμό):

- Σε 3 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 1 μ T και 100V/m
- Σε 6 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 0,5 μ T και 50V/m
- Σε 10 χρόνια να επανεξεταστούν οι συνέπειες και να γίνει επιπλέον μείωση στα 0,2 μ T και 10V/m

Ενώ παράλληλα προτείνει:

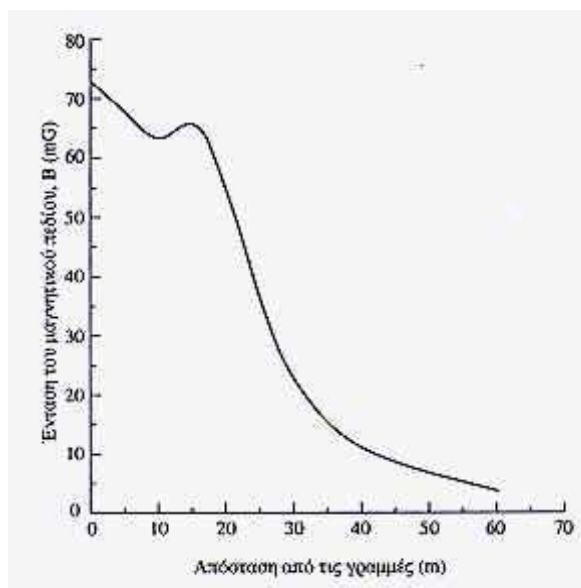
- ✓ Να μην χτίζονται καινούργια σχολεία, νηπιαγωγεία και σταθμοί σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2 μ T
- ✓ Να μην χτίζονται σπίτια σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2 μ T για περιόδους μεγαλύτερες από 0,2 μ T την ημέρα
- ✓ Να μην γίνονται νέες γραμμές μεταφοράς που θα έχουν ως αποτέλεσμα την υπέρβαση των παραπάνω.

Όπως θα γίνει φανερό ότι τα συμπεράσματα της έκθεσης αυτής πρέπει να οδηγήσουν τις ενέργειες κρατών, οργανισμών και πολιτών σε διαφορετική κατεύθυνση από αυτή των προηγούμενων ετών.

Επιβάρυνση από καλώδια υψηλής τάσης

Δυστυχώς, τα καλώδια υψηλής τάσης (πυλώνες) έχουν αποδειχθεί σχεδόν επικίνδυνα όσον αφορά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο. Αυτό φάνηκε σε μετρήσεις που έγιναν σε πλήθος γραμμών, όπου φάνηκε ότι το ηλεκτρικό πεδίο (E) στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών πυλώνων παίρνει τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από το όριο επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Όσο για το μαγνητικό πεδίο (B) στο ίδιο σημείο, τα πράγματα είναι καλύτερα, αφού οι τιμές που παίρνει είναι πολύ μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας για τα 50Hz αλλά και μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας των 2mG. Σαν συμπέρασμα καταλήγουμε στο ότι ο άνθρωπος δέχεται υπερβολική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την υγεία του σε απόσταση κάτω των 30 μέτρων από τις γραμμές υψηλής τάσης, ενώ ασφαλής απόσταση θεωρούνται τα 200 μέτρα. Τα συμπεράσματα αυτά απεικονίζονται στο επόμενο διάγραμμα.

Πέρα όμως από την δημιουργία της ‘δικής’ τους ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι γραμμές υψηλής τάσης θεωρούνται ότι είναι κάποιο είδος ‘μαγνήτη’ για κάποιους επιπρόσθετους μηχανισμούς παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, όπως: συσσώρευση κοσμικής ακτινοβολίας κατά μήκος των γραμμών, συσσώρευση καρκινογόνων και ραδιενεργών ουσιών γύρω από τους αγωγούς, παράταση του χρόνου ζωής των ελεύθερων ριζών. Στους δρόμους των πόλεων μετρήθηκαν μικρές τιμές έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο, στα σημεία όπου υπάρχουν οι μετασηματιστές της ΔΕΗ (συνήθως γωνίες δρόμων) τα πεδία έχουν εντάσεις που στις μέγιστες τιμές τους (σε επαφή με το μετασηματιστή) είναι μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας αλλά πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Ασφαλής απόσταση μπορούν να θεωρηθούν τα 3m και άνω.



ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΚΕΡΑΙΕΣ ΡΑΝΤΑΡ

Εισαγωγή

Τα ραντάρ, γενικά, δεν επηρεάζουν μεγάλη μερίδα κόσμου, αλλά κυρίως ανθρώπους που εργάζονται σε αυτά ή κοντά σε αυτά, με εξαιρέσεις κάποιες παράνομα τοποθετημένες ιδιωτικές κεραίες ή σταθμούς οποιουδήποτε είδους οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε κατοικημένες περιοχές. Όλα τα ραντάρ δεν συγκαταλέγονται σε μια γενική κατηγορία, αφού υπάρχουν πολλά είδη τα οποία διαφέρουν όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική εκπομπή τους.

Στρατιωτικά Ραντάρ

Ραντάρ έρευνας: Τα όρια επικινδυνότητας Ανατολής - Δύσης διαφέρουν όσον αφορά αυτού του τύπου τα ραντάρ, με αποτέλεσμα η πυκνότητα ισχύος τους σε απόσταση 250m να είναι πολύ μικρότερη από τα «Δυτικά» όρια, αλλά μεγαλύτερη από τα «Ανατολικά». Όσον αφορά όμως το εγγύς πεδίο, δεν μπορούμε να έχουμε σύγκριση τιμών αφού η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται με προσεγγιστικές μεθόδους μόνο. Παρ' όλα αυτά, η έκθεση ενός ανθρώπου στο εγγύς πεδίο δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση ασφαλής.

Ραντάρ επιτήρησης στρατηγικών χώρων: Το εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αυτών των ραντάρ σε απόσταση 100m από τον πομπό έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 4 φορές μεγαλύτερη των Δυτικών ορίων επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερη των Ανατολικών ορίων.

Σαν συμέρασμα βλέπουμε ότι τα στρατιωτικά ραντάρ είναι επικίνδυνα όσον αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν επιβαρυντικά για τον γενικό πληθυσμό, αφού βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές και το προσωπικό το οποίο εργάζεται σε αυτά είναι άκρως εκπαιδευμένο.

Ραντάρ Πολιτικών Αεροδρομίων

Η μέση πυκνότητα ισχύος που εκπέμπουν τα σύγχρονα ελληνικά τερματικά σε απόσταση άνω των 500 μέτρων (μακρινό πεδίο), παίρνει τιμές μικρότερες όλων των ορίων. Οι αντίστοιχες τιμές στο εγγύς πεδίο πρέπει βέβαια να είναι πολύ μεγαλύτερες, αλλά όπως είπαμε παραπάνω δεν μπορούν να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας.

Όσον αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τα τερματικά αυτά, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα εάν:

- Η κεραία του ραντάρ είναι εγκατεστημένη σε ύψος 33 μέτρων πάνω από το έδαφος.
- Η κεραία εκπέμπει οριζόντια ή 2° - 3° μοίρες άνω του οριζόντιου άξονα.

Έτσι, βλέπουμε ότι είναι πρακτικά αδύνατο μονάδες πληθυσμού να βρεθούν στη διεύθυνση μέγιστης ισχύος και κατά συνέπεια ο κίνδυνος από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ελάχιστος έως ανύπαρκτος. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι οι τιμές που παίρνει η πυκνότητα ισχύος σε συγκεκριμένα σημεία με το ραντάρ ανοικτό και έπειτα κλειστό, είναι οι ίδιες.

Λοιπά Είδη Ραντάρ

Τα υπόλοιπα είδη ραντάρ (καιρού, ναυσιπλοΐας) είναι ακίνδυνα, με εξαίρεση τα ραντάρ μέτρησης ταχύτητας της τροχαίας, τα οποία εκπέμπουν ισχύ μεγαλύτερης πυκνότητας, αλλά δεν θεωρούνται επικίνδυνα, αφού ο χρόνος λειτουργίας τους είναι περιορισμένος.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Εισαγωγή

Η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές συσκευές είναι κάτι που μας αφορά άμεσα όλους, αφού είναι κάτι στο οποίο εκτιθόμαστε καθημερινά για πολύ χρόνο. Το φάσμα συχνοτήτων το οποίο καλύπτουν οι οικιακές συσκευές στο σύνολό τους είναι μεγάλο. Αρχίζει από τα 50 Hz και επεκτείνεται ως και την ζώνη των GHz. Από μετρήσεις που έχουν γίνει με πεδίομετρα σε διάφορα σημεία μίας κατοικίας βλέπουμε ότι το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο ενός σπιτιού κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω από το όριο ασφαλείας, εκτός από συγκεκριμένα σημεία όπως απάνω στους τοίχους (λόγω του δικτύου παροχής ρεύματος) ή δίπλα από ηλεκτρικές συσκευές.

Οι οικιακές συσκευές που αξίζουν ιδιαίτερης μελέτης είναι οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών και οι τηλεοράσεις. Οι συσκευές αυτές είναι οι πιο πολύπλοκες όσον αφορά την

συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου το οποίο εκπέμπουν, αφού έχουμε συνολικά τρεις περιοχές συχνότητων:

- Πεδία συχνοτήτων VLF: Παράγονται από τον μετασχηματιστή υψηλής τάσης (20.000 Volts), στη συχνότητα 15 - 20 kHz.
- Πεδία συχνοτήτων RF (ραδιοσυχνότητες): Πέραν της κεντρικής συχνότητας του μετασχηματιστή έχουμε την δημιουργία αρμονικών συχνοτήτων λόγω οξύτατων παλμών του ίδιου του μετασχηματιστή, της τάξεως των 300 kHz - 10 GHz.
- Ραδιενέργεια από την οθόνη, ιονίζουσας συχνότητας, πέραν της συχνότητας του ορατού.

Ακτινοβολία τηλεοράσεων

Από μετρήσεις που έγιναν με ειδικά όργανα συμπεραίνουμε ότι το μαγνητικό πεδίο γύρω από μια τυπική έγχρωμη τηλεόραση είναι κάτω από τα όρια επικινδυνότητας, με αποτέλεσμα μία απόσταση μεγαλύτερη του μισού μέτρου να μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ασφαλής για τον άνθρωπο. Δυστυχώς, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις τιμές πυκνότητας ισχύος, αφού μετρώντας την επάνω στην συσκευή, βλέπουμε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από όλα τα όρια επικινδυνότητας. Γενικά όμως, μπορούμε να πούμε ότι μια απόσταση μεγαλύτερη των 2 μέτρων θα παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια.

Ακτινοβολία οθόνης υπολογιστών

Οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν μπορούν να θεωρηθούν όλες στην ίδια κατηγορία, αφού ο βαθμός θωράκισης του κάθε μοντέλου διαφέρει (η θωράκιση υπάρχει αφού ο χρήστης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι αναγκασμένος να κάθεται πολύ κοντά στην οθόνη). Επομένως είναι αναμενόμενο οι τιμές του μαγνητικού πεδίου αλλά και της πυκνότητας ισχύος να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μίας τηλεόρασης. Οι μετρήσεις που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα είναι τιμές ανάμεσα στις οποίες κινούνται πλήθος μοντέλων του εμπορίου:

Απόσταση σε cm για κάθε διεύθυνση	Πυκνότητα ισχύος σε $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ κατά τη διεύθυνση x	Πυκνότητα ισχύος σε $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ κατά τη διεύθυνση y	Πυκνότητα ισχύος σε $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ κατά τη διεύθυνση z
0	150-300	500-2000	60-3000
10	50-150	50-300	100-500
50	Μικρότερη από 1	Μικρότερη από 1	Μικρότερη από 1

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι:

- Κάθε χρήστης πρέπει να εργάζεται σε απόσταση από την οθόνη μεγαλύτερη των 50 cm.
- Καλό θα ήταν ο κάθε χρήστης να καθαρίζει την οθόνη του ή να την μετακινεί όταν αυτή είναι σβηστή
- Είναι σχεδόν απαγορευτικό για τον οποιονδήποτε να κάθεται πίσω από αναμμένη οθόνη.

Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές

Οι τιμές του ηλεκτρικού και προπαντός του μαγνητικού πεδίου των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές σε επαφή με αυτές, που, μερικές φορές, ξεπερνούν το όριο επικινδυνότητας για 24ωρη έκθεση. Δεν πρέπει να υπάρχει όμως ανησυχία αφού ο χρήστης δεν έρχεται σχεδόν ποτέ σε επαφή με τέτοιου είδους οικιακές συσκευές (σεσουάρ, ξυριστική μηχανή, ανοιχτήρια κονσέρβας, ηλεκτρικά πριόνια κ.α.) και η χρήση τους είναι χρονικά περιορισμένη. Στη συνήθη απόσταση του χρήστη από τις συσκευές αυτές και ιδιαίτερα για το κεφάλι του, τα πεδία, ηλεκτρικά και μαγνητικά, είναι πολύ μικρότερα ακόμα και των ορίων ασφαλείας.

Πεδία μεγαλύτερα από τα όρια ασφαλείας στην απόσταση του χρήστη δημιουργούν μερικά μοντέλα συσκευών, όπως: πιστολάκια μαλλιών, ηλεκτρική ξυριστική μηχανή, μίξερ, ηλεκτρική κουζίνα, φούρνος μικροκυμάτων, ηλεκτρική σκούπα, τρυπάνια, πριόνια ηλεκτρικά, επιτραπέζιοι λαμπτήρες φθορισμού. Ειδικά για το φούρνο μικροκυμάτων πρέπει να προστεθεί ότι εκτός από τα πεδία συχνότητας 50Hz του δικτύου, εκπέμπει και ραδιοκύματα συχνότητας 2.450MHz. Μετρήσεις έδειξαν ότι σε επαφή με το τζάμι, η πυκνότητα ισχύος των μικροκυμάτων κυμαίνεται από 180-700μW/cm², ενώ σε απόσταση μισού μέτρου είναι μικρότερη και από το “ανατολικό” όριο επικινδυνότητας του 1μW/cm². Καλύτερα λοιπόν να τηρείται αυτή η απόσταση ασφαλείας και ο φούρνος να μην είναι προσιτός από τα μικρά παιδιά. Ακόμη οι φούρνοι αυτοί συνιστώνται περισσότερο για θέρμανση φαγητού παρά για μαγείρεμα και ο λόγος είναι ότι οι ζωικοί ιστοί απορροφούν διαφορετικά, όπως είδαμε, την μικροκυματική ακτινοβολία και έτσι κάποια μέρη των κρεάτων να μην ψήνονται σωστά με κίνδυνο διατήρησης παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ. σαλμονέλα).

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

Εισαγωγή

Η ιστορία της κινητής τηλεφωνίας αρχίζει το 1898, όταν ο Marconi εγκατέστησε το πρώτο σύστημα στην υπηρεσία της Βασίλισσας Βικτορίας της Αγγλίας. Ύστερα χρησιμοποιήθηκε από την αστυνομία και αργότερα από το στρατό κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Μετά το 1970 και την εισαγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, οι διαστάσεις και το κόστος των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας μειώθηκαν και σε συνδυασμό με τη θεαματική βελτίωση των επιδόσεών τους, επέτρεψαν τη γενίκευση της χρήσης της από το ευρύτερο κοινό.

Στην Ελλάδα, σήμερα, ο αριθμός των χρηστών κινητής τηλεφωνίας αυξάνει με ρυθμό 17%. Με στόχο την αντικατάσταση συστημάτων κινητής τηλεφωνίας α' γενιάς η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στην καθιέρωση ενός κοινού προτύπου που είναι το GSM (Global System Mobile) ήδη εγκαταστάθηκε στη χώρα μας. Το GSM είναι κυτταρικό κυψελωτό (cellular) επειδή, η γεωγραφική περιοχή που καλύπτει, διαιρείται σε μικρότερες περιοχές-κυψέλες που σχηματίζονται από τις κεραίες των σταθερών σταθμών βάσης (RBS-Radio Base Stations) οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι συνήθως στις ταράτσες

υψηλών κτιρίων. Η πυκνότητα και το μέγεθος των κυψελών εξαρτάται από τη γεωγραφία της περιοχής δηλαδή αν υπάρχουν εμπόδια, το εύρος της παραχωρημένης στο σύστημα περιοχής συχνοτήτων, αλλά κυρίως, από την αναμενόμενη πυκνότητα τηλεφωνικών κλήσεων κάθε περιοχής. Όπως αναφέρθηκε, στη σημερινή φάση, η κινητή τηλεφωνία είναι κυτταρική. Η θέση των σταθμών βάσης προσδιορίζεται, επίσης, και από την απαίτηση για οπτική μεταξύ τους επαφή, ώστε να είναι δυνατή η άμεση διασύνδεσή τους με μικροκυματικό κανάλι.

Ακτινοβολία κεραιών βάσης

Η κεραία σταθμού βάσης εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος της οριζοντίως (κάθετα στο μεγάλο άξονα της κεραίας) και ελάχιστο ποσοστό κατακόρυφα. Κατά τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας, οι τιμές της πυκνότητας ισχύος γίνονται μικρότερες από όλα τα όρια επικινδυνότητας πέρα από απόσταση των 50 μέτρων. Ύστερα από μετρήσεις σε σταθμούς βάσης σε απόσταση μόλις 10 μέτρων που έγιναν στην Ελλάδα και που απεικονίζουν την χειρότερη περίπτωση έκθεσης έχουμε τα εξής συμπεράσματα:

Η μέγιστη μετρηθείσα πυκνότητα πεδίου βρέθηκε μικρότερη από το όριο προστασίας. Παρομοίως, εφαρμόζοντας και το συντελεστή έκθεσης από πολλαπλές πηγές, υπολογίστηκαν τιμές που είναι μικρότερες της μονάδας. Αφού λοιπόν στην ακραία περίπτωση απευθείας έκθεσης, σε απόσταση μόλις 10 μέτρων από την κεραία εκπομπής, το πεδίο αναπτύσσεται εντός ορίων επικινδυνότητας, τότε είναι εύκολα αντιληπτό, λαμβάνοντας υπόψη και τη σχέση διάδοσης σε ελεύθερο χώρο όπου το πεδίο αποσβένεται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της αποστάσεως, ότι σε οποιοδήποτε άλλο σημείο πέραν της αποστάσεως των 10 μέτρων το πεδίο παίρνει τιμές σαφώς μικρότερες. Αυτό διαπιστώνεται και από τις μετρήσεις που έγιναν σε σχολεία της περιοχής του Ν. Ψυχικού όπου απείχαν από τις κεραίες εκπομπής από 20 έως 100 μέτρα περίπου και με ποικίλους προσανατολισμούς ως προς αυτές.

Συμπέρασμα: Η επιβάρυνση του πληθυσμού από την ακτινοβολία κεραιών σταθμών βάσης GSM μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι πιο πρόσφατες μελέτες που έγιναν από τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ν. Ουζούνογλου και Κ. Νικήτα στα πλαίσια ερευνητικού ευρωπαϊκού προγράμματος (CEPHOS) με σκοπό την κατάρτιση προτύπων για συσκευές κινητής τηλεφωνίας.

Σχετικό άρθρο που δημοσιεύτηκε στις 03/04/2001 αναφέρει ότι: Ακίνδυνες είναι οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας, σύμφωνα με στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε ημερίδα με θέμα 'Τα Μέτρα Προστασίας του κοινού από την λειτουργία των κεραιών κινητής τηλεφωνίας', που διοργάνωσε το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, σε συνεργασία με την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων. Όπως χαρακτηριστικά τονίστηκε, οι κεραίες εκπέμπουν ακτινοβολία μικρότερη, κατά 5.000 φορές, από αυτήν που εκπέμπει κατά μέσο όρο ένα κινητό τηλέφωνο, ενώ οι χρήστες των κινητών τηλεφώνων, που συνιστούν σήμερα το 70% του πληθυσμού, θα δέχονταν πολύ μικρότερη ακτινοβολία αν οι κεραίες ήταν περισσότερες και κατά συνέπεια πιο προσβάσιμες από τα κινητά.

Ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων

Ενώ υπάρχει γενική παραδοχή από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ότι η ακτινοβολία των κεραιών των σταθμών βάσης GSM έχει ασήμαντη επίδραση στην υγεία του ανθρώπου, διαφορετική εμφανίζεται η εικόνα όσον αφορά στην ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων. Πρώτη ανησυχία για την πιθανή επικινδυνότητα των κινητών τηλεφώνων ξέσπασε το 1993. Κάποιος μιλώντας σε γνωστή εκπομπή του CNN ισχυρίστηκε ότι ο θάνατος της γυναίκας του από καρκίνο του εγκεφάλου προκλήθηκε από χρήση κινητού τηλεφώνου. Ο θόρυβος που προκλήθηκε από τα ΜΜΕ μείωσε τότε σημαντικά την τιμή των μετοχών των εταιριών κινητής τηλεφωνίας. Τότε ανακοινώθηκε ότι μέχρι στιγμής οι επιστημονικές έρευνες δεν έχουν αποδείξει σύνδεση του καρκίνου του εγκεφάλου με την ακτινοβολία του φορητού τηλεφώνου και συνεπώς δεν υπάρχει λόγος λήψης πρόσθετων μέτρων ασφαλείας πέραν των ισχυόντων.

Ισχύοντα μέτρα προστασίας:

- (α) Για ολόσωμη 24ωρη έκθεση (γενικός πληθυσμός) όριο επικινδυνότητας είναι τα $0,6 \text{ mW/cm}^2$ ή $600 \mu\text{W/cm}^2$ και ως μέγιστο επιτρεπόμενο Ειδικό Ρυθμό Απορρόφησης (SAR) τα $0,8 \text{ W/kg}$.
- (β) Όταν η έκθεση είναι τοπική όπως και στα κινητά, υπερβάσεις των ορίων αυτών επιτρέπονται αν μπορεί να αποδειχθεί ότι ο SAR είναι μικρότερος από $1,6 \text{ W/kg}$ κατά μέσον όρο για κάθε γραμμάριο (1gr) οποιουδήποτε ιστού της κεφαλής.
- (γ) Οι πομποί συχνοτήτων 450-1500 MHz θεωρούνται ασφαλείς αν η ισχύς εκπομπής τους είναι μικρότερη από $1,4 \cdot 450/f$, όπου f η συχνότητα σε MHz. Έτσι, το φορητό του GSM ($f=900\text{MHz}$), μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές αν η ισχύς του είναι μικρότερη από $0,7 \text{ Watts}$ και εφόσον, σύμφωνα με την οδηγία, απέχει από το σώμα απόσταση μεγαλύτερη από $2,5 \text{ cm}$.

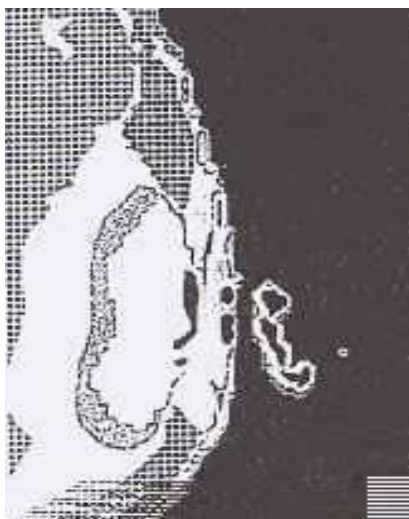
Η ισχύς εκπομπής των κινητών του GSM στην Ελλάδα είναι 2 W . Οι περισσότεροι χρήστες χρησιμοποιούν το κινητό σε επαφή με το αυτί. Οι επισημάνσεις αυτές είναι οι πρώτες στην προσπάθεια εκτίμησης του βαθμού επικινδυνότητας των φορητών τηλεφώνων του GSM. Ο θεωρητικός υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος στο περιβάλλον του κινητού τηλεφώνου για ισχύ εκπομπής $P = 2\text{W}$, για τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραίας και για αποστάσεις από 5 μέχρι 20cm , δίνει τιμές από $10.000 \mu\text{W/cm}^2$ μέχρι $650 \mu\text{W/cm}^2$, που είναι πολύ μεγαλύτερες και των δυτικών ορίων επικινδυνότητας. Η σύγκριση όμως δεν είναι επιτρεπτή, επειδή τα όρια αυτά αφορούν ολόσωμη έκθεση ενώ η ακτινοβολία του κινητού εντοπίζεται μόνο στην κεφαλή. Οι τιμές της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας του φορητού κυτταρικού τηλεφώνου GSM που προέκυψαν από τις μετρήσεις και τους θεωρητικούς υπολογισμούς, δεν μπορούν να αγνοηθούν. Για μια εγκυρότερη όμως εκτίμηση του βαθμού ασφαλείας των φορητών, πρέπει να υπολογιστεί ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης των μεμονωμένων ιστών της κεφαλής και να συγκριθεί με το όριο επικινδυνότητας των $1,6\text{W/kg}$ που θέτει η νέα οδηγία του IEEE C95.1-1991.

Ο Gandhi υπολόγισε ότι για να μειωθεί ο βαθμός απορρόφησης της ακτινοβολίας του κινητού σε όλους τους ιστούς της κεφαλής κάτω από το όριο επικινδυνότητας των $1,6\text{W/kg}$, θα πρέπει η ισχύς του κινητού τηλεφώνου να πέσει κάτω από $0,6\text{W}$.

Θεωρητικός υπολογισμός του SAR της ακτινοβολίας κινητού από το μάτι, το αυτί και τον εγκέφαλο με ισχύ εκπομπής φορητού 1W και για δύο θέσεις του φορητού ως προς το κεφάλι (κατακόρυφη και υπό κλίση 45°) σε απόσταση 0,5cm από αυτό, έδειξε τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

Είδος ιστού	Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (W/kg)	
	Φορητό τηλέφωνο τοποθετημένο κατακόρυφα	Φορητό τηλέφωνο κεκλιμένο κατά 45° ως προς την κατακόρυφο
Μάτι	1,82W/kg	2,48W/kg
Εγκέφαλος	0,178W/kg	0,21W/kg
Αυτί	10,11W/kg	4,97W/kg

Οι τιμές που προκύπτουν είναι μεγάλες και υπερβαίνουν το όριο επικινδυνότητας των 1,6W/kg για μεμονωμένους ιστούς. Μεγαλύτερη εμφανίζεται, φυσιολογικά, η απορρόφηση από το αυτί, για κατακόρυφη θέση του κινητού, υπερβαίνοντας κατά 6 φορές περίπου το όριο επικινδυνότητας. Ακόμη μεγαλύτερες τιμές του SAR αναμένονται για την ισχύ των 2W που εκπέμπουν τα κινητά του συστήματος GSM στην Ελλάδα. Επομένως η ισχύς των φορητών κυτταρικών τηλεφώνων του GSM στην Ελλάδα πρέπει να μειωθεί κατ' αρχήν στα 0,5W, με μελλοντική προοπτική στα 0,25W. Ωστόσο, οι μετρήσεις των προαναφερθέντων καθηγητών του ΕΜΠ για την απορρόφηση από το αυτί της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα νέα κινητά των 0,5W ή 0,25W δίνει τα εξής αποτελέσματα



Στο σχήμα απεικονίζεται ο βαθμός διείσδυσης της ακτινοβολίας στους διάφορους ιστούς.

Η λευκή κηλίδα δεξιά είναι η κεραία του κινητού.

Ο μέγιστος βαθμός απορρόφησης αντιστοιχεί στις μαύρες κηλίδες κάτω από το δέρμα (άνω του ορίου), ενώ πέφτει γρήγορα προς το εσωτερικό του κρανίου.

	Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (W/kg)			
	Κεραία με κλίση 45° σε απόσταση 0,5cm από το αυτί		Κεραία κατακόρυφη σε απόσταση 0,5cm από το αυτί	
	1800MHz*	915MHz**	1800MHz*	915MHz**
0,5 W	1,5	2,4	4,5	5
0,25W	0,75	1,2	2,2	2,5

* Cosmote ** Telestet-Panafon

Η αντιμετώπιση του προβλήματος από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας

Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας ως σημαντικότερο επιχείρημα έχουν το γεγονός πως η παρούσα, κυτταρική, φάση της τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών θα δώσει, μελλοντικά, τη θέση της στην μικροκυτταρική και αργότερα στην πικοκυτταρική τηλεφωνία. Η εισαγωγή του συστήματος αυτού θα μειώσει την ακτίνα του κυττάρου-κυψέλης σε μερικές εκατοντάδες μέτρα (μικροκύτταρα) ή και μερικές δεκάδες μέτρα (πικοκύτταρα, για επικοινωνίες στο εσωτερικό μεγάλων κτηρίων). Ως συνέπεια, το πλήθος των σταθμών βάσης θα αυξηθεί κατακόρυφα, πράγμα που θα επιτρέψει την μείωση της ισχύος του κινητού αφού, όπου και να βρίσκεται ο χρήστης, θα έχει πολύ κοντά του ένα σταθμό βάσης. Σχεδιάζεται, μάλιστα, η τοποθέτηση των σταθμών βάσης στις κολώνες της ΔΕΗ ή σε στύλους φωτισμού. Βέβαια, η προοπτική αυτή επαναφέρει τον προβληματισμό γύρω από την επιβάρυνση λόγω των κεραιών των σταθμών βάσης, των οποίων ο αριθμός θα πληθύνει σημαντικά. Ωστόσο, είδαμε ότι μέχρι σήμερα η επιβάρυνση αυτή είναι αμελητέα [5]-[9].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΛΕΤΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια πρόσφατη δημοσίευση στο περιοδικό Radiation Research του Repacholi, που αναφέρει ότι η έκθεση στην ακτινοβολία RF μπορεί να αυξήσει την εμφάνιση λεμφώματος σε ποντίκια, έχει προκαλέσει περαιτέρω ενδιαφέρον γύρω από το θέμα. Επίσης μία σειρά άρθρων από τους Lai και Singh αναφέρει ότι η σχετικά χαμηλού επιπέδου έκθεση σε ακτινοβολία RF μπορεί να προκαλέσει διάσπαση δεσμών DNA στα κύτταρα του εγκεφάλου των αρουραίων.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη επισκόπηση των μελετών που έχουν γίνει για πιθανή σχέση της ακτινοβολίας RF και του καρκίνου. Ανατρέπει στις υπάρχουσες επιδημιολογικές μελέτες της ακτινοβολίας RF, με έμφαση να αποσαφηνίσει τα κενά που υπάρχουν στις γνώσεις μας πάνω στο θέμα. Κατόπιν, το άρθρο εξετάζει την κυτταρογενετική λογοτεχνία πάνω στην ακτινοβολία RF, κάποιες αμφιλεγόμενες νέες μελέτες που προτείνουν ότι έκθεση σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας RF μπορεί διασπάσει δεσμούς DNA και τις μελέτες έκθεσης ζώων σε ακτινοβολία RF για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέλος, το άρθρο παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση των ανθρώπινων, ζωικών, κυψελωτών και βιοφυσικών αποδείξεων σχετικών με το εάν η ακτινοβολία RF των κινητών μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση στον άνθρωπο.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επιδημιολογικές Έρευνες

Με την μέθοδο αυτή ερευνάται το ιατρικό ιστορικό ενός δείγματος πληθυσμού (συνήθως χιλιάδων κατοίκων) που κατοικεί σε χώρους βεβαρημένους ηλεκτρομαγνητικά (κοντά σε πλώνες υψηλής τάσης δικτύων διανομής ρεύματος, εγκαταστάσεις κεραιών κ.λ.π) και η συχνότητα των ασθενειών του δείγματος αυτού συγκρίνεται με εκείνη ενός άλλου ανάλογου δείγματος πληθυσμού που κατοικεί σε χώρους ηλεκτρομαγνητικά καθαρούς. Υπάρχουν εκατοντάδες επιδημιολογικές μελέτες παγκοσμίως των οποίων τα ευρήματα συσχετίζουν την Η/Μ ακτινοβολία με περιπτώσεις καρκίνων σε παιδιά, αποβολών σε εγκύους, λευχαιμιών κ.ά. ασθενειών σε εργαζόμενους σε επιβαρημένους ηλεκτρομαγνητικά χώρους. Οι επιδημιολογικές έρευνες παρουσιάζουν κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, καθώς:

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η ακτινοβολία που δέχτηκε το δείγμα, ιδίως για μεγάλα χρονικά διαστήματα

Είναι πολύπλοκο να εξαιρεθούν άλλοι επιβαρυντικοί παράγοντες που προκαλούν την εκδήλωση ίδιων ασθενειών (π.χ. κάπνισμα, κληρονομικότητα)

Οι επιστήμονες για να υπερβούν αυτές τις δυσκολίες δέχονται τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών όταν εμφανίζουν μεγάλο παράγοντα κινδύνου (άνω του 10) στο επιβαρημένο δείγμα έναντι του "καθαρού". Προς το παρόν οι επιδημιολογικές έρευνες αναδεικνύουν μια σοβαρή ένδειξη περί επικινδυνότητας της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά δεν αποτελούν απόδειξη.

Μελέτες με πειραματόζωα

Κατά τις μελέτες αυτές πειραματόζωα, όπως κουνέλια, ποντικοί, γάτες κ.λ.π. εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τα αποτελέσματα της ακτινοβολήσης ανιχνεύονται με κλινικές εξετάσεις ή νεκροτομή και ιστολογική εξέταση στο εργαστήριο, σε σύγκριση πάντα με μη εκτιθέμενα πειραματόζωα.

Μελέτη των αιφνίδιων θανάτων βρεφών

Για την εξήγηση του φαινομένου αιφνίδιων θανάτων βρεφών (σύνδρομο βρεφικής κλίνης), ο Gadson, εξέτασε τους εγκεφάλους από νεκρά βρέφη και διαπίστωσε αλλοιώσεις όμοιες με εκείνες που υφίστανται πειραματόζωα που εκτίθενται στα πεδία γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης. Συγχρόνως, επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν πως τέτοιοι θάνατοι βρεφών συμβαίνουν συνήθως σε κατοικίες κοντά σε ηλεκτρικούς σιδηροδρόμους, ενώ βρέθηκε τελικά πως σε όλες τις περιπτώσεις τέτοιων θανάτων, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ήταν πάνω από 4 φορές μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της τιμής του ηλεκτρικού πεδίου στις κατοικίες, που είναι περίπου 10V/m.

Μελέτες Με Καλλιέργειες Κυττάρων

Συμπεράσματα για τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να συναχθούν και από την ακτινοβολήση επιλεγμένων ιστών, ή καλλιιεργειών κυττάρων, στο εργαστήριο.

ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ RF

Οι επιδημιολογικές μελέτες της ακτινοβολίας RF παρουσιάζουν μεγάλη αντίθεση με αυτές της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Η καμπύλη ποσότητας-απόκρισης για πρόκληση καρκίνου από ιονίζουσα ακτινοβολία διαπιστώθηκε πρώτα από ένα γεγονός μεγάλης ποσότητας (Χιροσίμα – Ναγκασάκι) και επαληθεύθηκε από πολλαπλές μελέτες σε επαγγελματικά εκτεθειμένους ή σε πληθυσμούς που έχουν δεχθεί ιατρική θεραπεία. Πολλές μελέτες τώρα προσπαθούν να χαρακτηρίσουν την καμπύλη ποσότητας-απόκρισης σε μικρές ποσότητες. Παρόλο που η ακτινοβολία RF είναι μέρος της κοινωνίας μας για τουλάχιστον τόσο καιρό όσο η ιονίζουσα ακτινοβολία, και αρκετά επαγγέλματα εκτίθενται σε αυτήν καθημερινά, καμία επιδημιολογική μελέτη δεν έχει δείξει καθαρά ότι η ακτινοβολία RF προκαλεί καρκίνο. Τα υπάρχοντα όρια έκθεσης και ο θερμικός κίνδυνος κρατούν τα επίπεδα έκθεσης του πληθυσμού σχετικά χαμηλά και είναι σχετικά απίθανο να υπάρχει μακροπρόθεσμη έκθεση του πληθυσμού σε μεγάλες ποσότητες. Σήμερα η έκθεση εργασίας είναι είτε κάτω από τα όρια, είτε εάν

είναι πάνω από τα όρια, αυτό γίνεται σπάνια και για μικρό αριθμό εργατών. Επιπρόσθετα, παρόλο που έχουν αναπτυχθεί πολύπλοκα μηχανήματα για την μέτρηση της ακτινοβολίας RF, καμία εντελώς ικανοποιητική μέθοδος δεν υπάρχει για την διαρκή παρακολούθηση των ατομικών ποσοτήτων έκθεσης. Εξαιτίας των χαμηλών επιπέδων έκθεσης, τον σχετικά μικρό πληθυσμό και την έλλειψη αξιόπιστων εκτιμήσεων της ποσότητας, η απόδειξη ή διάψευση της ύπαρξης καρκινογενών συμπτωμάτων της έκθεσης σε ακτινοβολία RF παραμένει πρόκληση για την επιδημιολογία. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, κάποιες πληροφορίες σχετικά με το θέμα του καρκίνου μπορούν να εξαχθούν από τις υπάρχουσες επιδημιολογικές μελέτες.

Κριτήρια για επιλογή των επιδημιολογικών μελετών της ακτινοβολίας RF

Μελετώντας την βιβλιογραφία, συμπεριλήφθηκαν όλες οι αναφορές που σχετίζονται με την έκθεση σε ακτινοβολία RF, έτσι ώστε η βάση δεδομένων να μην περιοριστεί σε συχνότητες που χρησιμοποιούνται από συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Μελέτες που έγιναν μόνο με συχνότητες ισχύος (50 ή 60Hz) δεν θεωρήθηκαν σχετικές. Πολλές έρευνες μετά το 1979 αφορούν εργάτες που ασχολούνταν με ηλεκτρισμό. Τα κριτήρια αξιολόγησης, που χρησιμοποιήθηκαν για τις μελέτες αυτές, μεταξύ των άλλων ήταν η κατάλληλη επιλογή και ο χαρακτηρισμός των εκτεθειμένων ομάδων και των ομάδων ελέγχου, ο επαρκής χαρακτηρισμός της έκθεσης, η διάρκεια για να μπορεί να αξιολογηθεί η ανάπτυξη καρκίνου, η επάρκεια του μεγέθους δειγματοληψίας και τέλος η καταλληλότητα της μεθόδου και της στατιστικής ανάλυσης.

Η επιδημιολογία του καρκίνου και της ακτινοβολίας RF περιλαμβάνει μελέτες θνησιμότητας από καρκίνο ή περιπτώσεις ανθρώπων που εκτέθηκαν σε πεδία RF, μελέτες μεμονωμένων ατόμων που είχαν συγκεκριμένο τύπο καρκίνου, γεωγραφικές μελέτες συσχετισμού που συγκρίνουν ρυθμούς καρκίνου σε περιοχές με διαφορετικές εκθέσεις σε ακτινοβολία RF και μελέτες ομαδικού καρκίνου. Οι γεωγραφικές μελέτες συσχετισμού υπολογίζουν την ακτινοβολία RF στις περιοχές αυτές και συσχετίζουν τις εκτιμήσεις με τους αντίστοιχους ρυθμούς θνησιμότητας. Ακόμα και όταν ο σχεδιασμός του γεωγραφικού συσχετισμού είναι ο βέλτιστος, οι μελέτες θεωρούνται πειραματικές και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν την αιτιότητα. Γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται γεωγραφικές μελέτες συσχετισμού σε αυτό το άρθρο. Αναφορές μεμονωμένων περιπτώσεων ή ακόμα και ομαδικού καρκίνου που οδήγησαν σε θάνατο, παρέχουν περιορισμένες και πιθανόν παραπλανητικές πληροφορίες. Τα σημαντικότερα βήματα για να αξιολογήσουμε τις αναφορές ομαδικού καρκίνου είναι:

- Να καθορίσουμε λογικά και όχι αυθαίρετα όρια στον τόπο και χρόνο.
- Να καθορίσουμε εάν όντως υπάρχει μια έξαρση ενός συγκεκριμένου τύπου καρκίνου.
- Να αναγνωρίσουμε κοινές εκθέσεις και χαρακτηριστικά.

Επειδή όμως τα παραπάνω βήματα δεν ακολουθήθηκαν γενικά στις μελέτες ακτινοβολίας RF, οι μελέτες τέτοιων ομαδικών καρκίνων δεν συμπεριλήφθηκαν στο άρθρο. Άλλη μια μελέτη ακτινοβολίας RF που παραλήφθηκε από το άρθρο είναι μία πρόσφατη μελέτη θνησιμότητας χρηστών κινητών τηλεφώνων που δεν περιείχε πληροφορίες για καρκίνο.

Μελέτες σε εργάτες με έκθεση στην ακτινοβολία RF

Εργάτες σε εργαστήρια ραντάρ

Ο Hill μελέτησε την μακροχρόνια υγεία, συμπεριλαμβανομένου και του καρκίνου, υπαλλήλων του εργαστηρίου του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (Rad Lab) που δούλεψαν πάνω στην έρευνα και ανάπτυξη εφαρμογών ραντάρ για το διάστημα μεταξύ 1940 και 1946. Τα αποτελέσματα δεν εκδόθηκαν αλλά είναι διαθέσιμα από μία πτυχιακή εργασία. Η έκθεση υπολογίστηκε για τον καθένα ξεχωριστά βασιζόμενη στην δουλειά και στα χαρακτηριστικά των τότε συστημάτων ραντάρ. Η μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος πεδίου υπολογίστηκε $2\text{-}5\text{mW/cm}^2$.

Η ομάδα συμπεριλάμβανε 1.456 άτομα και είχε διάρκεια για μεγάλη περίοδο. Η έκθεση αξιολογήθηκε ταιριάζοντας τις περιγραφές της δουλειάς με τα χαρακτηριστικά του τόπου εργασίας, μια μέθοδος που θα παρείχε καλύτερη αναπλήρωση της έκθεσης στην ακτινοβολία RF από ένα απλό τίτλο εργασίας. Οι ρυθμοί θνησιμότητας των εργατών συγκρίθηκαν με τον γενικό ανδρικό πληθυσμό των ΗΠΑ καθώς και με μια ομάδα εξειδικευμένων φυσικών. Οι φυσικοί επιλέχθηκαν σαν ένα σύστημα ελέγχου καθώς η κοινωνικοοικονομική τους κατάσταση ήταν παρόμοια με τους εργάτες του Rad Lab. Για να περιορίσουμε την σύγχυση, οι φυσικοί προέρχονταν από ειδικότητες που θεωρούνταν απίθανο να είχαν εργασιακή έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία.

Βασισμένοι σε μοντέλο από πίνακες, ο κίνδυνος ανάπτυξης καρκίνου του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος, λευχαιμίας, λεμφώματος ή ασθένειας του Hodgkin δεν αυξήθηκαν αρκετά στους εργάτες του Rad Lab σε σχέση με τους φυσικούς. Σε σχέση με τον λευκό ανδρικό πληθυσμό των ΗΠΑ, ο συνολικός αριθμός εμφάνισης καρκίνου στην ομάδα του Rad Lab ήταν αρκετά μικρότερος από τον αναμενόμενο και ο καρκίνος του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος ήταν σε μικρότερα επίπεδα, αλλά όχι σημαντικά, από τα αναμενόμενα. Όταν εξετάστηκαν οι ρυθμοί καρκίνου των εργατών του Rad Lab σε επίπεδο έκθεσης, δεν αποδείχθηκε αυξημένος κίνδυνος λόγω μεγαλύτερης έκθεσης. Δηλαδή δεν υπήρχαν στοιχεία για σχέση μεταξύ έκθεσης και απόκρισης.

Υπάλληλοι σε υπηρεσίες του εξωτερικού

Από το 1953 μέχρι το 1976, μικροκύματα χαμηλής έντασης σκόπευαν το κτίριο της αμερικάνικης πρεσβείας στη Μόσχα. Ο Lilienfeld πραγματοποίησε μια μεγάλη έρευνα για την υγεία 1800 υπαλλήλων, που τους είχε ανατεθεί δουλειά στην πρεσβεία. Η κατάσταση της υγείας τους συγκρίθηκε με 2500 υπαλλήλους σε άλλες πρεσβείες της ανατολικής Ευρώπης. Μετρήσεις σε αρκετά σημεία έκθεσης στην πρεσβεία της Μόσχας έδειξαν ότι η μέγιστη έκθεση ήταν 0.015 mW/cm^2 (από 0.5 έως 9 GHz) για 18 ώρες/ημέρα. Για το μεγαλύτερο διάστημα της περιόδου που έγιναν οι μετρήσεις, το μέγιστο επίπεδο ήταν χαμηλότερο. Στον πληθυσμό των άλλων πρεσβειών που έγινε η σύγκριση τα επίπεδα ήταν πολύ χαμηλότερα.

Ο Lilienfeld δεν βρήκε αποδείξεις ότι τα άτομα στην ομάδα της Μόσχας παρουσίαζαν υψηλότερη θνησιμότητα από καρκίνο, είτε στη γενική του μορφή είτε κάποια επιμέρους μορφή. Παρόλο που αυτή η μελέτη ήταν καλά σχεδιασμένη, ο σχετικά μικρός αριθμός ατόμων και ο σύντομος χρόνος διάρκειας μείωσαν την ισχύ του. Η αξία της μελέτης αυτής περιορίζεται επίσης από τα υπερβολικά χαμηλά

επίπεδα ακτινοβολίας RF, παρόλο που πρέπει να σημειωθεί ότι τα επίπεδα είναι παρόμοια με αυτά που δημιουργούνται γύρω από τις κεραίες σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας.

Προσωπικό Αμερικανικού Ναυτικού

Ο Robinette μελέτησε την θνησιμότητα από καρκίνο 20000 ατόμων του αμερικανικού ναυτικού που πιθανότατα εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF κατά την διάρκεια του πολέμου της Κορέας. Η διάρκεια της μελέτης ήταν περίπου 20 χρόνια, από το 1950 έως το 1974. Παρόλο που η έκθεση στην ομάδα υψηλής έκθεσης ήταν κατά μέσο όρο λιγότερο από $1\text{mW}/\text{cm}^2$, οι τρεις κατηγορίες υψηλής έκθεσης συμπεριλάμβαναν και κίνδυνο έκθεσης πάνω από $10\text{mW}/\text{cm}^2$. Για ένα υποσύνολο του προσωπικού, η έκθεση αξιολογήθηκε βάση της ισχύος του ραντάρ πάνω στο πλοίο στο οποίο υπηρετούσε κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας. Αυτή η αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε για να ανατεθεί ένας βαθμός κινδύνου σε κάθε εργασία. Αυτή η ανάλυση προσδιόρισε μια αυξανόμενη τάση για τη πιθανότητα για τις υψηλότερες εκθέσεις μέσα στα εκτεθειμένα επαγγέλματα.

Στις εργασίες υψηλής έκθεσης, ο ρυθμός θνησιμότητας σε σχέση με την ηλικία ήταν υψηλός για καρκίνο γενικά, για λεμφατικό καρκίνο, για καρκίνο του αιματοποιητικού συστήματος και του αναπνευστικού σωλήνα, όμως μόνο η αύξηση στον καρκίνο του αναπνευστικού σωλήνα ήταν στατιστικά μεγάλη. Δεν παρατηρήθηκαν συσχετισμοί έκθεσης και απόκρισης ούτε ανά εργασία ούτε ανά βαθμό κινδύνου. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει πολύ μικρή σχέση μεταξύ έκθεσης και καρκίνου. Όμως η αξιοπιστία της μειώνεται κατά ένα βαθμό επειδή η ομάδα υψηλής έκθεσης συγκρίθηκε με όλη την ομάδα εργατών, αντί για την ομάδα χαμηλής έκθεσης.

Ο Garland μελέτησε την σχέση μεταξύ εργασίας και λευχαιμίας σε μία ομάδα του προσωπικού του αμερικανικού ναυτικού. Παρόλο που δεν μελετήθηκε συγκεκριμένα η ακτινοβολία RF, οι εργασίες του ναυτικού που μελετήθηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές στην μελέτη του Robinette. Οι εργασίες που ο Robinette είχε αναγνωρίσει ως ομάδες υψηλής έκθεσης (ηλεκτρονικός τεχνικός, τεχνικός πλοήγησης και τεχνικός ελέγχου) είχαν χαμηλότερα ποσοστά λευχαιμίας από ότι ο γενικός ανδρικός πληθυσμός.

Ερασιτέχνες χειριστές ασυρμάτου

Η υπόθεση ότι η έκθεση στην ακτινοβολία RF σχετίζεται με τον καρκίνο δοκιμάστηκε και σε μια ομαδική μελέτη ερασιτεχνών χειριστών ασυρμάτου από τον Milham. Ο Milham θεώρησε ότι η κατοχή άδειας για ερασιτεχνικό χειρισμό ήταν μια αναπλήρωση για έκθεση σε πεδία RF και συχνοτήτων ισχύος. Καμία πληροφορία δεν δόθηκε για τις εκπεμπόμενες συχνότητες, για τα επίπεδα ισχύος στη θέση του χειριστή ή για τις ώρες χρήσης. Η ομάδα ήταν σχετικά μεγάλη, αλλά κάποιοι περιορισμοί στην αξιολόγηση της έκθεσης και η έλλειψη επιβεβαίωσης των θανάτων περιορίζουν την αξία των αποτελεσμάτων.

Η θνησιμότητα από όλες τις αιτίες, όπως επίσης και από καρκίνο ήταν χαμηλότερη από τον γενικό πληθυσμό και αυτή η μείωση ήταν σχετικά μεγάλη. Ο κίνδυνος για οξεία μυελογενή λευχαιμία αυξήθηκε και έφτασε στατιστικά σε μεγάλα επίπεδα. Ο καρκίνος του αναπνευστικού συστήματος μειώθηκε σημαντικά. Η αναφορά δηλώνει πως καμία άλλη αιτία θανάτου δεν είχε σημαντική αύξηση.

Νορβηγοί Ηλεκτρολόγοι

Ο Tynes κατηγοριοποίησε ‘τα ηλεκτρικά επαγγέλματα’ σε πέντε κατηγορίες έκθεσης, βασισμένος σε συζητήσεις με εργάτες και ειδικούς. Μια από αυτές τις κατηγορίες ήταν η έκθεση σε πεδία RF. Παρόλο που δεν λήφθηκαν μετρήσεις πεδίου, η αξιολόγηση της έκθεσης και ο σχεδιασμός της μελέτης παρέχουν περισσότερο αξιόπιστες πληροφορίες για έκθεση σε ακτινοβολία RF από τις περισσότερες εργασιακές μελέτες σχετικές με ακτινοβολία ΗΜ. Ξεχωριστά πλεονεκτήματα ήταν η χρήση των εθνικών μητρώων εργασίας και καρκίνου και η χρήση της εμφάνισης καρκίνου και όχι της θνησιμότητας. Η αξιολόγηση της εργασίας για την διάρκεια του χρόνου ζωής των εργατών είναι βελτιωμένη χάρη στα δεδομένα των πιστοποιητικών θανάτου που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες. Η συχνότητα εμφάνισης καρκίνου είναι μια πιο αξιόπιστη ένδειξη σε κάποια περίοδο από την θνησιμότητα, καθώς δεν οδηγούν όλοι οι τύποι καρκίνου σε θάνατο. Παρόλα αυτά, η εργασία αξιολογήθηκε σε μια μόνο χρονική στιγμή και έτσι δεν είναι γνωστά τα χρόνια παραμονής στην εργασία. Η ομάδα, της οποίας η δουλειά είχε ως αποτέλεσμα την έκθεση σε ακτινοβολία RF (χειριστές ασυρμάτων και τηλεγράφου και τεχνίτες τηλεόρασης και ραδιοφώνου), δεν είχαν αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του εγκεφάλου, αλλά είχαν αυξημένο κίνδυνο λευχαιμίας.

Πολωνοί στρατιωτικοί εργαζόμενοι σε ραντάρ

Ο Szmigielski μελέτησε τον καρκίνο σε μια ομάδα 120.000 περίπου Πολωνών στρατιωτικών από τους οποίους το 3% είχαν δουλέψει με μονωτές θερμότητας που χρησιμοποιούσαν ακτινοβολία RF. Η έκθεση καθορίστηκε από αξιολογήσεις του επιπέδου του πεδίου σε διάφορα σημεία, από τα οποία το 80-85% είχαν επίπεδα μικρότερα από $0.2\text{mW}/\text{cm}^2$. Δεν λήφθηκε υπ’ όψιν ο χρόνος έκθεσης ή η εργασία σε εκείνα τα σημεία. Δεν χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι κατάλληλοι για την μελέτη της ομάδας στον χρόνο, δεν υπάρχουν δεδομένα για τις ηλικίες των ατόμων και δεν υπάρχει απόδειξη για ρύθμιση ηλικίας, που χρειάζεται για να αποτρέψει την προκατάληψη από την διαφορά ηλικίας μεταξύ της ομάδα που εκτίθεται και της ομάδας σύγκρισης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν μόνο ως ρυθμοί εμφάνισης καρκίνου και έτσι δεν είναι γνωστός ούτε ο αριθμός των περιπτώσεων, ούτε ο συνολικός αριθμός του προσωπικού και ο συγγραφέας δηλώνει ότι κάποιοι από τους ρυθμούς ήταν ιδιαίτερα ασταθείς. Σχεδόν όλοι οι ετήσιοι ρυθμοί ήταν χαμηλοί, όπως ήταν αναμενόμενο από τον σχετικά μικρό χρόνο διάρκειας. Καρκίνος όλων των τύπων, καρκίνος του εγκεφάλου, καρκίνος του πεπτικού συστήματος και καρκίνος των λεμφατικών και αιματοποιητικών οργάνων αναφέρθηκαν ότι ήταν υψηλότεροι στο προσωπικό που εκτέθηκε. Οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων και ανάλυσης περιγράφονται ανεπαρκείς ή είναι ακατάλληλοι και αυτό περιορίζει την αξιοπιστία των δεδομένων. Εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών σχεδίασης και της έλλειψης βασικών στοιχείων, όπως ο αριθμός των περιπτώσεων που παρατηρήθηκαν, η αναφορά αυτή δεν συγκεντρώνει τα αναγκαία κριτήρια για αποδοχή.

Γυναίκες χειριστές σε μονωτές θερμότητας

Ο Lagorio σύγκρινε την θνησιμότητα από καρκίνο εργαζομένων γυναικών σε μονωτές θερμότητας, που χρησιμοποιούσαν ακτινοβολία RF, με την θνησιμότητα από καρκίνο του γενικού πληθυσμού της περιοχής. Η αξιολόγηση της έκθεσης βασίστηκε στον χρόνο εργασίας σε μονωτές θερμότητας

ακτινοβολίας RF. Οι υπολογισμοί έκθεσης σε ακτινοβολία RF βασίστηκαν σε μια έρευνα που είχε διεξαχθεί παλαιότερα, η οποία δήλωνε ότι είχε υπερβεί το τυπικό όριο $1\text{mW}/\text{cm}^2$.

Μεταξύ των χειριστών μονωτών θερμότητας υπήρχε ένα ποσοστό θανάτου από καρκίνο μεγαλύτερο από ότι αναμενόταν, βασισμένο σε έξι περιπτώσεις. Παρόλα αυτά ούτε η σύμπτωση ούτε κάποιοι άλλοι παράγοντες μπορούν να αποκλεισθούν. Επιπλέον, οι έξι περιπτώσεις καρκίνου που βρέθηκαν στην ομάδα έκθεσης, ήταν όλες διαφορετικού τύπου καρκίνου, το οποίο δεν στηρίζει την υπόθεση να έχουν την ίδια αιτία. Ακόμη ο χώρος εργασίας συμπεριλάμβανε έκθεση σε χημικά που συσχετίζονται με τον καρκίνο κάτι που πιθανόν να μετέβαλλε τα αποτελέσματα.

Δοκιμαστικό πρόγραμμα ηλεκτρομαγνητικού παλμού

Με αφορμή μια αναφορά μιας περίπτωσης λευχαιμίας, ο Muhm μελέτησε την θνησιμότητα από καρκίνο για μια περίοδο 11 χρόνων μιας ομάδας 304 εργατών σε ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα ηλεκτρομαγνητικού παλμού. Οι εργάτες ήταν υπό έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς υψηλής έντασης που περιλαμβάνουν πεδία από 10 KHz έως 100KHz. Όμως από την μελέτη αυτή δεν μπορούν να βγουν κάποια συμπεράσματα, για εμφάνιση καρκίνου λόγω κυρίως του περιορισμένου αριθμού της ομάδας.

Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία

Ο Grayson αξιολόγησε την εμφάνιση όγκων στον εγκέφαλο σε μια ομάδα ανδρών που υπηρέτησαν στην πολεμική αεροπορία για τουλάχιστον ένα χρόνο. Η διάρκεια της μελέτης αυτής ήταν 18 έτη. Οι κατηγορίες έκθεσης σε πεδία RF, τις οποίες τις χωρίζει σε: 'χωρίς έκθεση', 'πιθανή έκθεση' και 'δυνατή έκθεση', βασίστηκαν σε αναφορές υπερβολικής έκθεσης. Ο Grayson τις εργασίες που περιλαμβάνουν συντήρηση και επιδιόρθωση εκπομπών τις κατατάσσει στην κατηγορία 'πιθανή έκθεση'. Τα πιθανά επίπεδα έκθεσης συνδυάστηκαν με την διάρκεια για να υπολογιστεί η έκθεση. Αυτό το σύστημα είναι αόριστο, διότι τα περιστατικά υπερβολικής έκθεσης δεν μπορούν να αντιπροσωπεύουν αξιόπιστα τις ευκαιρίες καθημερινής ή επαναλαμβανόμενης έκθεσης άλλων εργατών στην ίδια κατηγορία εργασίας. Ο κίνδυνος για εμφάνιση όγκου του εγκεφάλου υπολογίστηκε για τις κατηγορίες 'πιθανή έκθεση' και 'δυνατή έκθεση', αλλά δεν βρέθηκε τάση για σχέση έκθεσης και απόκρισης.

Περίληψη επιδημιολογικών μελετών έκθεσης σε ακτινοβολία RF

Η πλειοψηφία επιδημιολογικών μελετών έκθεσης σε ακτινοβολία RF έχει ελλείψεις στην αξιολόγηση της έκθεσης γιατί η εργασία ή ο εργασιακός τίτλος χρησιμοποιήθηκε ως ένα αναπληρωματικό μέτρο της έκθεσης. Παρόλο που μερικές μελέτες παρείχαν κάποιες πληροφορίες για την πιθανότητα έκθεσης στον εργασιακό χώρο, κάποιες άλλες δεν το έκαναν, και καμία δεν παρείχε συστηματικές μετρήσεις έκθεσης για ατομικές περιπτώσεις. Για τις μελέτες με λογική σχεδίαση, όσο υψηλότερη είναι η ποιότητα αξιολόγησης της έκθεσης, τόσο πιο έμπιστα είναι τα αποτελέσματα.

Βασισμένοι στα κριτήρια που περιγράφηκαν παραπάνω, περισσότερο βάρος μπορεί να δοθεί σε τρεις επιδημιολογικές μελέτες με αποδεκτό σχεδιασμό και ανάλυση, μεγάλο δειγματικό μέγεθος και μεγάλο χρόνο διάρκειας. Αυτές οι τρεις μελέτες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντικές σχέσεις μεταξύ ακτινοβολίας RF και οποιουδήποτε τύπου καρκίνου. Οι άλλες μελέτες με αποδεκτό σχεδιασμό έχουν

σημαντικούς περιορισμούς στην αξιολόγηση της έκθεσης, στην επιβεβαίωση της κατάστασης ή στην διάρκεια της μελέτης. Ούτε αυτές οι μελέτες όμως δεν υποστηρίζουν ότι η έκθεση σε ακτινοβολία RF αυξάνει το κίνδυνο του καρκίνου. Η έλλειψη συσχετισμού με τον καρκίνο υπονοεί ότι η ακτινοβολία RF είναι απίθανο να έχει κάποια αιτιολογική επίδραση στον καρκίνο. Παρόλα αυτά, οι μελέτες αυτές έχουν μικρότερη δυνατότητα να ανιχνεύσουν αλλαγές σε λιγότερο κοινούς τύπους καρκίνου, όπως καρκίνος του εγκεφάλου και λευχαιμία.

Μία ομάδα κριτηρίων, γνωστή και ως κριτήρια Hill, χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν την αξιολόγηση επιδημιολογικών δεδομένων για απόδειξη της αιτιότητας. Όσο πιο αυστηρά τηρούνται τα κριτήρια Hill, τόσο πιο πειστικές είναι οι αποδείξεις ότι οι παρατηρούμενοι συσχετισμοί υπονοούν αιτία και αποτέλεσμα. Δυνατοί συσχετισμοί στις επιδημιολογικές μελέτες, δηλαδή υψηλοί σχετικά κίνδυνοι, ομοιόμορφα αποτελέσματα σε διαφορετικούς πληθυσμούς μελέτης, αύξηση στις περιπτώσεις νοσημάτων με αύξηση του επιπέδου ή της πιθανότητας έκθεσης (τάση έκθεσης-απόκρισης) και ομοιόμορφες αποδείξεις για μια συγκεκριμένη ασθένεια λαμβάνονται υπ' όψιν όσον αφορά την συνοχή με τις βιολογικές αποδείξεις. Για να υποστηρίξουμε μια σχέση αιτίας και αποτελέσματος, τα δεδομένα πρέπει να παρουσιάζουν μία λογική συνοχή και ομοιόμορφη εικόνα. Είναι φανερό ότι η επιδημιολογία της ακτινοβολίας RF δεν τα πάει καλά όταν μελετάται σύμφωνα με τα κριτήρια Hill. Οι συσχετισμοί δεν είναι δυνατοί, ομοιόμορφοι ή συγκεκριμένοι για κάποιον τύπο καρκίνου και οι τάσεις έκθεσης-απόκρισης δεν είναι εμφανείς.

Σε μια τέτοια περίπτωση, όπου οι επιδημιολογικές αποδείξεις για μια σχέση μεταξύ ενός παράγοντα και μιας ασθένειας δεν είναι δυνατές και το αποτέλεσμα είναι βιολογικά απίθανο, οι εργαστηριακές μελέτες γίνονται σημαντικές για την αξιολόγηση του κινδύνου. Εάν υπήρχαν σημαντικά στοιχεία ότι η έκθεση σε πεδία RF είναι καρκινογόνος, θα μπορούσε να κάνει τους λίγους συσχετισμούς που αναφέρθηκαν σε αυτές τις επιδημιολογικές μελέτες πιο πειστικούς. Αντίστροφα, εάν είχαν γίνει κυτταρικές και ζωικές μελέτες και είχαν επανειλημμένα δείξει ότι δεν υπάρχει απόδειξη καρκινογένεσης από ακτινοβολία RF, τότε θα τείναμε να μειώσουμε τέτοιες ασθενείς επιδημιολογικές αποδείξεις.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΓΟΝΟΤΟΞΙΚΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ RF

Μια τυποποιημένη μέθοδος για αξιολόγηση της καρκινογενούς ικανότητας ενός παράγοντα είναι η μελέτη της γονοτοξικότητας. Εκθέσεις γονοτοξικότητας μπορούν να γίνουν μετά από έκθεση κυττάρων σε μια καλλιέργεια κυττάρων ή με κύτταρα ζώων που έχουν εκτεθεί στον παράγοντα που δοκιμάζονται. Αρκετοί ερευνητές έχουν εξετάσει τις γονοτοξικές δυνατότητες της ακτινοβολίας RF χρησιμοποιώντας ανθρώπινα κύτταρα ή κύτταρα ποντικών. Παρόλο που η πλειοψηφία των μελετών δεν αποκάλυψε ιδιαίτερη γονοτοξικότητα, μερικές παρουσιάζουν θετικές επιδράσεις. Οι θετικές αναφορές των Maes, Lai και Singh έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Ο Maes υπέβαλλε ανθρώπινα λεμφοκύτταρα *in vitro* σε πεδία RF με συχνότητα 2450MHz για 30-120 λεπτά, με SAR 75W/Kg και ανέφερε σημαντική αύξηση χρωμοσωματικών παρεκτροπών. Είναι δύσκολο να αναλύσουμε αυτά τα δεδομένα εξαιτίας της αβεβαιότητας όσον αναφορά την δοσιμετρία της ακτινοβολίας RF και τις θερμοκρασιακές μετρήσεις. Ειδικότερα εικάζεται ότι ο θερμοκρασιακός δείκτης (ένα μεταλλικό θερμίστορ που τροφοδοτήθηκε μέσω μιας υποδερμικής βελόνας και τοποθετήθηκε στο δοχείο της έκθεσης) μπορεί να θερμάνθηκε από την ακτινοβολία RF, προκαλώντας ζημιά στα κύτταρα που ακουμπούσαν την βελόνα. Υπήρχε επίσης αβεβαιότητα σχετικά με τις μετρήσεις του SAR, που έγιναν κατά την διάρκεια ενός ξεχωριστού πειράματος.

Οι Lai και Singh ανέφεραν ότι μία δώωρη έκθεση αρουραίων σε συχνότητα 2450MHz ακτινοβολίας RF με SAR από 0.6 έως 1.2W/Kg προκάλεσε διάσπαση δεσμών του DNA σε εγκεφαλικά κύτταρα. Η διάσπαση των δεσμών DNA παρατηρήθηκε αμέσως αλλά και μετά από έκθεση 4 ωρών σε ακτινοβολία RF. Η παρατήρηση αυξημένης βλάβης του DNA μετά από 4 ώρες δεν είναι σύμφωνη με γνωστούς μηχανισμούς διόρθωσης βλάβης στο DNA από άλλες μορφές ακτινοβολίας. Επιπλέον, ο Meltz σε προηγούμενη εργασία δεν είχε βρει υπερβολική διάσπαση δεσμών μετά από *in vitro* έκθεση θηλαστικών κυττάρων σε ακτινοβολία RF.

Εν όψη της συνεχιζόμενης διαμάχης σχετικά με τις πιθανές γονοτοξικές ιδιότητες της ακτινοβολίας RF και προηγούμενων αρνητικών μελετών, οι μελέτες των Maes, Lai και Singh πρέπει να επαναληφθούν ανεξάρτητα. Ο Vijayalaxmi και ο Malyara έχουν επιχειρήσει τέτοιες μελέτες.

Κυτταρογενετική βλάβη σε ποντίκια με μακρά έκθεση σε ακτινοβολία RF

Ο Vijayalaxmi αξιολόγησε την κυτταρογενετική βλάβη σε κύτταρα αίματος και μυελού των οστών από ποντίκια επιρρεπή σε καρκίνο, που υποβλήθηκαν για μεγάλο διάστημα σε ακτινοβολία RF σε συχνότητα 2450MHz. Η μελέτη ήταν μέρος μιας μεγαλύτερης έρευνας, σχεδιασμένη για να αποσαφηνίσει εάν μακροχρόνια έκθεση ποντικών σε ακτινοβολία RF θα προκαλούσε περισσότερες περιπτώσεις καρκίνου του μαστού.

Διακόσια θηλυκά ποντίκια χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Μία ομάδα υπεβλήθη σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2450MHz με SAR 1W/Kg για 20 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα, για 18 μήνες και η άλλη ομάδα σε εικονική έκθεση. Το σύστημα έκθεσης και η δοσιμετρία έχουν περιγραφεί με ακρίβεια από τον Vijayalaxmi. Άλλα 75 ποντίκια διατηρήθηκαν ως ζώα φρουροί και χρησιμοποιήθηκαν για περιοδικές εξετάσεις της κατάστασης της υγείας τους. Επτά από τα αυτά τα ποντίκια που επέζησαν από την δεκαοχτάμηνη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν ως θετικό δείγμα. Τους χορηγήθηκε mitimycin (1mg/Kg) και θυσιάστηκαν 24 ώρες αργότερα. Στο τέλος της δεκαοχτάμηνης περιόδου της μελέτης λήφθηκαν από όλα τα ποντίκια που ήταν ζωντανά περιφερικό αίμα και επίχρισμα μυελού των οστών. Για κάθε ποντίκι, η συχνότητα εμφάνισης των μικροπυρηνίσκων καθορίστηκε από την εξέταση 2000 πολυχρωματικών ερυθρών κυττάρων στο αίμα και στον μυελό των οστών.

Στο τέλος της δεκαοχτάμηνης περιόδου έκθεσης, το γκρουπ της μελέτης που αποτελούταν από 62 ποντίκια εκτεθειμένα σε ακτινοβολία RF και 58 σε εικονική έκθεση. Ο μέσος αριθμός των μικροπυρηνίσκων ανά 100 πολυχρωματικά ερυθρά αιμοσφαίρια στα εκτεθειμένα ποντίκια ήταν 4,5

(μεταξύ 3,5-6) στο αίμα και 6,1 (μεταξύ 4,5-7,5) στον μυελό των οστών. Η αντίστοιχη συχνότητα μικροπυρηνίσκων στα ποντίκια της εικονικής έκθεσης ήταν 4 (μεταξύ 3-6) στο αίμα και 5.7 (μεταξύ 4-7) στον μυελό. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες ήταν στατιστικά σημαντική τόσο για το αίμα όσο και για τον μυελό των οστών.

Παρόλο όμως που υπήρχε αυτή η σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες, η βιολογική σχέση πρέπει να μπει σε προοπτική. Η αύξηση στην συχνότητα των μικροπυρηνίσκων στα ποντίκια που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF σε σχέση με την συχνότητα της εικονικής ομάδας ήταν μόνο ένας μικροπυρηνίσκος ανά 2000 κύτταρα. Βιολογικά αυτό είναι μία πολύ μικρή διαφορά για ένα μεγάλο αριθμό ζώων που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF για μια μεγάλη περίοδο. Βασισμένοι μόνο στην απόδειξη αυτή, είναι πρόωρο να καταλήξουμε ότι η έκθεση σε ακτινοβολία RF ενεργεί σαν μεταλλαξιγόνο. Επιπλέον, η στατιστική αύξηση στην συχνότητα των μικροπυρηνίσκων στα ερυθρά αιμοσφαίρια δεν σχετίζεται με καρκινογενή αποτελέσματα, καθώς δεν υπήρχε απόδειξη ότι η έκθεση ήταν καρκινογενής. Τέλος σε σύγκριση με αντίστοιχες ομάδες ποντικών που είχαν αναπτύξει καρκίνο του μαστού, δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές στην συχνότητα εμφάνισης μικροπυρηνίσκων στο αίμα τους ή στον μυελό των οστών τους.

Κυτταρογενετική βλάβη σε ανθρώπινα λεμφοκύτταρα εκτεθειμένα σε ακτινοβολία RF

Ο Vijayalaxmi σχεδίασε μελέτες για να εξετάσει κυτταρογενετική βλάβη σε ανθρώπινα λεμφοκύτταρα αίματος ύστερα από έκθεση σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2450 MHz. Δείγματα αίματος εκτέθηκαν σε *in vitro* ακτινοβολία συνεχούς κύματος. Η έκθεση ήταν συνεχής ή διακοπτόμενη (30 λεπτά σε λειτουργία και 30 λεπτά εκτός λειτουργίας) για συνολική περίοδο έκθεσης 90 λεπτών. Η διακοπτόμενη έκθεση σκόπευε να εξετάσει κάθε θετικό αποτέλεσμα από το συνεχές άνοιγμα και κλείσιμο του πεδίου RF και δεν είχε ως στόχο να μιμηθεί κάποια τεχνολογία στην συγκεκριμένη χρήση.

Η μέση ένταση ισχύος μετρήθηκε και ήταν 5.0mW/cm². Ο SAR υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ανάλυση FDTD. Πάνω από το 75% των κυττάρων ήταν εκτεθειμένα με SAR μεγαλύτερο από 1.72 W/Kg και πάνω από 50% των κυττάρων ήταν εκτεθειμένα με SAR μεγαλύτερο από 6.53 W/Kg.

Αμέσως μετά την έκθεση σε ακτινοβολία RF τα λεμφοκύτταρα χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν την εμφάνιση χρωμοσωματικών μεταλλάξεων και μικροπυρηνίσκων. Η συχνότητα εμφάνισης χρωμοσωματικών βλαβών, ανταλλαγής παρεκτροπών στα λεμφοκύτταρα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF (συνεχής ή διακοπτόμενη) δεν ήταν σημαντικά διαφορετική από τα κύτταρα της εικονικής έκθεσης. Ομοίως και για τη συχνότητα μικροπυρηνίσκων. Όταν συγκρίθηκαν η συνεχής με την διακοπτόμενη έκθεση, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές σε καμία από τις κυτταρογενετικές παραμέτρους που εξετάστηκαν.

Κάτω από τις συνθήκες έκθεσης σε ακτινοβολία RF που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες αυτές, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ανθρώπινα λεμφοκύτταρα των δύο ομάδων με σεβασμό στις κινητικές πολλαπλασιασμού, στις χρωμοσωματικές μεταλλάξεις ή στην συχνότητα των μικροπυρηνίσκων. Αυτά τα αποτελέσματα δεν υποστηρίζουν εκείνα του Maes, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι ο Maes χρησιμοποιούσε πολύ υψηλότερο SAR (75 W/Kg).

Διάσπαση DNA ύστερα από in vitro έκθεση σε ακτινοβολία RF

Ο Malyara σχεδίασε μελέτες in vivo και in vitro για να επεκτείνει τις μελέτες των Lai και Singh, οι οποίες ανέφεραν ότι η έκθεση των ζώων σε ακτινοβολία RF μπορούσε να προκαλέσει διάσπαση των δεσμών DNA σε κύτταρα του εγκεφάλου. Παρόλο που τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από τους Lai και Singh βασιζόνταν σε εκθέσεις in vivo, οι μελέτες in vitro επιτρέπουν πιο προσεκτική παρακολούθηση και έλεγχο της ανάπτυξης των κυττάρων, της θερμοκρασίας και άλλων συνθηκών του πειράματος. Η βλάβη του DNA μετρήθηκε με την ερμηνεία της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε από τον Olive αφού επιδείχθηκε ότι η ευαισθησία αυτής της ανάλυσης ήταν συγκρίσιμη με την ερμηνεία που αναπτύχθηκε από τον Singh.

Τα κύτταρα εκτέθηκαν in vitro σε συνεχή ακτινοβολία RF συχνότητας 2450 MHz, σε ακτινοβολία συχνότητας 836 MHz διαμορφωμένη κατά συχνότητα ή σε ακτινοβολία 848 MHz διαμορφωμένη με CDMA. Οι δύο τελευταίες εκθέσεις εξομοιώνουν πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και στα κινητά τηλέφωνα στις ΗΠΑ. Οι SAR υπολογίστηκαν 0.7 W/Kg και 1.9 W/Kg για την μελέτη των 2450MHz ενώ για τις συχνότητες 836 MHz και 848 MHz ήταν 0.6 W/Kg. Οι εκθέσεις έγιναν υπό θερμοκρασία 37 °C για 2, 4 ή 24 ώρες και η ανάλυση για τη διάσπαση του DNA έγινε αμέσως μετά την ακτινοβολία, εκτός από την δίωρη έκθεση, όπου η ανάλυση έγινε και αμέσως αλλά και ύστερα από 4 ώρες στους 37 °C.

Η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση δεν φανέρωσε καμία απόδειξη για διάσπαση του DNA σε κύτταρα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF. Δεν παρατηρήθηκε διάσπαση του DNA ούτε όταν τα κύτταρα, στα οποία χορηγήθηκε 10μM bromodeoxyuridine, εκτέθηκαν σε 836 MHz ή 848 MHz για 2-24 ώρες, παρόλο που τα κύτταρα αυτά εκτέθηκαν σε φθορίζον φως. Γι' αυτό καμία απόδειξη για διάσπαση του DNA δεν παρατηρήθηκε όταν τα κύτταρα εκτέθηκαν σε vitro για τις συχνότητες που εξετάστηκαν.

Διάσπαση DNA ύστερα από in vivo έκθεση σε ακτινοβολία RF

Οι μελέτες in vivo του Malyara σχεδιάστηκαν για να είναι μια απάντηση σε εκείνες του Lai και Singh με τρεις εξαιρέσεις. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Olive για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση, χρησιμοποιήθηκε επίσης ανάλυση μέσω υπολογιστή για να μετρηθούν οι παράμετροι της ανάλυσης και δοκιμάστηκαν πρόσθετες μέθοδοι ευθανασίας.

Τα ποντίκια ήταν είτε υπό εικονική έκθεση, είτε εκτέθηκαν για 2 ώρες σε ακτινοβολία 2.450 MHz και με SAR 1,2 W/Kg. Μετά την έκθεση, τα ποντίκια υπέστησαν ευθανασία ταυτόχρονα με ασφυξία από διοξείδιο του άνθρακα και ο εγκεφαλος διαμελίστηκε. Ανεξάρτητα από την ακτινοβολία RF, η σειρά με την οποία τα ποντίκια διαμελίστηκαν καθόρισε το ποσό της διάσπασης του DNA. Φαίνεται ότι η διάσπαση του DNA που καθορίστηκε με αυτή την τεχνική είναι κατά ένα μεγάλο μέρος το αποτέλεσμα της καθυστέρησης μεταξύ θανάτου και αφαίρεσης του εγκεφάλου. Ο βαθμός της ζημιάς δεν μας εκπλήσσει, διότι η υποξία ακόμη και αν διαρκέσει 2-3 λεπτά προκαλεί ανεπανόρθωτη ζημιά στα εγκεφαλικά κύτταρα, οδηγώντας σε θάνατο με απόπτωση (προγραμματισμένος κυτταρικός θάνατος).

Όταν τα ποντίκια ευθανατώθηκαν με διοξείδιο του άνθρακα και η αφαίρεση του εγκεφάλου έγινε αμέσως, καμία διαφορά δεν παρατηρήθηκε στα δύο εκτιθέμενα γκρουπ. Παρόλα αυτά η διαφορά από ποντίκι σε ποντίκι στο χρόνο θανάτου από ασφυξία, οδήγησε σε μεγάλες τιμές των παραμέτρων της ανάλυσης και υψηλά στάνταρτ απόκλισης. Επειδή η ασφυξία προκάλεσε ζημιά του DNA στα εγκεφαλικά κύτταρα των ποντικίων που μπορεί να ανιχνευτεί με την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση, έγιναν επιπρόσθετες μελέτες χρησιμοποιώντας ευθανασία με αποκεφαλισμό 2 ώρες μετά από έκθεση σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2.450 MHz με SAR 1,2 W/Kg. Όχι μόνο δεν υπήρξε διαφορά ανάμεσα στα δύο γκρουπ, αλλά υπήρχε πολύ μικρή πειραματική μεταβλητότητα. Το πείραμα επαναλήφθηκε κάνοντας ένα τετράωρο διάλειμμα ύστερα από δίωρη έκθεση σε ακτινοβολία RF, όπως έγινε και στα πειράματα των Lai και Singh. Πάλι όμως δεν παρατηρήθηκε καμία απόδειξη για ζημιά του DNA εγκεφαλικά κύτταρα των ποντικίων.

Αυτά τα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με εκείνα που αναφέρονται από τους Lai και Singh, οι οποίοι βρήκαν υπερβολική ζημιά στο DNA και στις δύο περιπτώσεις. Δεν υπάρχει άλλη αναφορά στην οποία η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση να χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί ζημιά στο DNA μετά από in vivo έκθεση σε ακτινοβολία RF. Σε αυτή τη μελέτη, αναφέρθηκαν αυξήσεις στη διάρκεια της ανάλυσης για τα δύο γκρουπ, πιθανότατα λόγω της έντασης κατά την μεταφορά προς και από την περιοχή έκθεσης. Φαίνεται πιθανόν ότι τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν από τους Lai και Singh μπερδεύτηκαν από την διαδικασία ευθανασίας ή από κάποιο άγνωστο έως τώρα παράγοντα στο χειρισμό του ζώου ή από τη ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε.

Περίληψη μελετών γονοτοξικότητας με ακτινοβολία RF

Έχουν γίνει εκτεταμένοι έλεγχοι για πιθανή γονοτοξική δραστηριότητα της ακτινοβολίας RF. Η πλειοψηφία των μελετών δεν έδειξε σημαντική γονοτοξικότητα. Μεταξύ των μελετών που ανέφεραν κάποια ένδειξη γονοτοξικότητας, αρκετές απέτυχαν στην επανεξέταση. Αφού είναι αδύνατο να αποδειχθεί το αντίθετο, φαίνεται απίθανο ότι η ακτινοβολία RF προκαλεί γονοτοξικό κίνδυνο σε υποθερμικά επίπεδα έκθεσης. Η εκδοχή ότι η ακτινοβολία RF ίσως να συνεισφέρει στην ανάπτυξη του καρκίνου χωρίς να είναι απευθείας γονοτοξική, που οφείλεται στο ότι ίσως να έχει επιγενετική δραστηριότητα, δεν έχει ανακαλυφθεί ακόμη με λεπτομέρειες.

ΜΕΛΕΤΕΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΖΩΩΝ ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ RF

Η πρότυπος εργαστηριακή ανάλυση για τον προσδιορισμό πιθανότητας εμφάνισης καρκίνου ενός παράγοντα είναι η μελέτη μακροχρόνιας έκθεσης σε κανονικά ζώα. Το γεγονός ότι η έκθεση στις μελέτες αυτές διαρκεί για ένα αξιόλογο τμήμα από τη ζωή των ζώων, σημαίνει ότι αυτές οι αναλύσεις είναι ικανές να ανιχνεύσουν επιγενετικά καθώς και γονοτοξικά καρκινογενήματα. Τέτοιες αναλύσεις συνήθως χρησιμοποιούν πολλαπλή δόση του παράγοντα, με την μεγαλύτερη αποτελούμενη από τη μέγιστη δόση που μπορούν τα ζώα να ανεχθούν χωρίς σημαντικά προβλήματα. Δεν έχουν γίνει

μακροχρόνιες μελέτες ζώων που να χρησιμοποιούν έκθεση σε ακτινοβολία RF υπό τις παρακάτω συνθήκες: κανονικά ζώα, πολλαπλά επίπεδα έκθεσης και έκθεση για όλη τη διάρκεια ζωής. Ένας αριθμός μελετών όμως έχει δημοσιεύσει αυτή την άποψη στην εκδοχή εάν η ακτινοβολία RF έχει την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου. Αυτές οι μελέτες θα έπρεπε να είναι ικανές να ανιχνεύσουν έντονα καρκινογενή αποτελέσματα εάν βέβαια υπήρχαν.

Μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης των ζώων είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν και έχουν μεγάλο κόστος. Ιδανικά, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος θα πρέπει να διατηρούνται περιβαλλοντολογικές συνθήκες, η διαχείριση των ζώων πρέπει να ελέγχεται αυστηρά και οι πρότυπες διαδικασίες χειρισμού πρέπει να αναπτύσσονται και να εφαρμόζονται. Αυτό απαιτεί την μακροχρόνια αφιέρωση των σημαντικών πόρων και η δέσμευση της διαχείρισης εάν θέλουμε η προσπάθεια να είναι επιτυχής. Για την μελέτη της ακτινοβολίας RF γενικά απαιτούνται ειδικές και ξεχωριστές παροχές, οι οποίες αυξάνουν περισσότερο το κόστος και την πολυπλοκότητα του πειράματος. Γι' αυτό άλλωστε, ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων μελετών δεν είχαν επιτυχία.

Οι περισσότερες από τις μελέτες της έκθεσης σε ακτινοβολία RF είχαν διάρκεια μικρότερη του ενός έτους. Ορισμένες από αυτές τις μελέτες δεν έδειξαν περιπτώσεις εμφάνισης καρκίνου. Μερικές μελέτες έχουν εστιαστεί στην επιγενετική δραστηριότητα της ακτινοβολίας RF, εάν δηλαδή η έκθεση σε ακτινοβολία RF αυξάνει το φαινόμενο καρκίνου στα ζώα, που είχαν ήδη υψηλό κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου λόγω της γενετικής τους κατασκευής ή επειδή ήταν σκόπιμα εκτεθειμένα σε καρκινογενή ιό ή σε χημικά.

Πρόσφατες μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης σε ποντίκια

Prausnitz – Susskind, 1962

Σε αυτή την μελέτη, την οποία αναφέρουμε περισσότερο λόγω του ιστορικού της ενδιαφέροντος, τα ποντίκια εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF συχνότητας 9,27 GHz με 100 mW/cm^2 για 4,5 λεπτά την ημέρα, 5 ημέρες την εβδομάδα για 59 εβδομάδες. Ο SAR υπολογίστηκε αργότερα ότι ήταν 40-50W/Kg, που ήταν το ισότιμο με το μισό του θανατηφόρου SAR για τα ποντίκια. Η έκθεση σε ακτινοβολία RF προκάλεσε αύξηση 2-5°C στη θερμοκρασία του εντέρου. Τα ποντίκια τέθηκαν υπό παρακολούθηση για 83 εβδομάδες από τότε που άρχισε η έκθεση. Οι μελέτες παρατήρησαν την παρουσία του νεοπλάσματος των λευκών κυττάρων, την οποία ονόμασαν λεύκωση.

Πολύαριθμα ψεγάδια, όπως επισημάνθηκαν από τους Roberts και Michaelson, μείωσαν κατά πολύ την συμβολή για τον καθορισμό του κινδύνου της έκθεσης σε ακτινοβολία RF. Ανάμεσα στα προβλήματα είναι η πίεση θερμότητας από την διαδικασία της έκθεσης, η έλλειψη στατιστικής ανάλυσης, η έλλειψη ιστοπαθολογικού χαρακτηρισμού της λεύκωσης και το γεγονός της επιδημικής πνευμονίας των ποντικίων κατά τη διάρκεια της μελέτης. Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι τα ζώα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF είχαν μεγαλύτερη μέση διάρκεια ζωής από ότι η ομάδα ελέγχου και όπως δήλωσαν οι Roberts και Michaelson μία εξίσου πολύ πιθανή περίπτωση θα μπορούσε να συμβεί με την έννοια ότι η μελέτη επιδείκνυε οφέλη εξαιτίας των μικροκυμάτων παρά επιζήμια αποτελέσματα.

Spalding, 1971

Σε αυτή τη μελέτη τα ποντίκια εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF συχνότητας 800 MHz για 2 ώρες την ημέρα, 5 ημέρες την εβδομάδα για 35 εβδομάδες. Η ένταση της ισχύος ήταν 43 mW/cm^2 και ο SAR 13 W/Kg . Τα ισοδύναμα σημεία περιλαμβάνουν μετρήσεις λευκών και ερυθρών αιμοσφαιρίων, επίπεδα αιμογλοβίνης, αιματοκρίτη, σωματικό βάρος και διάρκεια ζωής. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο γκρουπ εκτεθειμένων και εικονικά εκτεθειμένων για καμία από τις μετρήσεις αυτές. Η μέση διάρκεια ζωής του πρώτου γκρουπ ήταν 664 ημέρες δηλαδή ελαφρώς μεγαλύτερη από του δεύτερου που ήταν 645 ημέρες.

Szmigielski, 1982

Αυτή η μελέτη χρησιμοποίησε ποντίκια για να εξετάσει εάν η ακτινοβολία RF θα μπορούσε να προάγει διαφόρους τύπους καρκίνου. Τα ζώα εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2450MHz για 2 ώρες την ημέρα, 6 ημέρες την εβδομάδα για 6 μήνες. Οι εκθέσεις έγιναν με εντάσεις ισχύος 5 ή 15 mW/cm^2 και το SAR υπολογίστηκε περίπου $2\text{-}3 \text{ W/Kg}$ και $6\text{-}8 \text{ W/Kg}$ αντίστοιχα. Οι έλεγχοι περιλαμβάνουν κανονικά ζώα και ζώα εκτεθειμένα σε πίεση περιορισμού.

Σε μια μελέτη σχετική με την εμφάνιση όγκου του δέρματος, η πλάτη των ποντικιών επικαλύφτηκε με τη χημική ουσία benzopyrene και τα ζώα εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF. Τα ζώα παρατηρήθηκαν για 12 μήνες. Και οι δύο εκθέσεις σε ακτινοβολία RF και σε πίεση περιορισμού επιτάχυναν σημαντικά την εμφάνιση όγκου του δέρματος που προκλήθηκε λόγω των χημικών. Σε μια μελέτη προαγωγής όγκου του μαστού, οι ερευνητές μελέτησαν την εμφάνιση όγκου σε ποντίκια επιρρεπή σε όγκο του μαστού. Σε αυτό το μοντέλο ποντικίου C3H, το 80% των ζώων ανέπτυξαν όγκο του μαστού. Πιθανώς αυτοί οι όγκοι προκλήθηκαν από ένα ιό MTV, που προκαλεί όγκο του μαστού, παρόλο που αυτό δεν δηλώνεται κατηγορηματικά από τους ερευνητές. Και πάλι και στις δύο εκθέσεις παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην εμφάνιση όγκου. Στο τέλος, οι ερευνητές μετεφύτεψαν κύτταρα σαρκωμάτων σε ποντίκια και έλεγξαν για μετάσταση στους πνεύμονες. Και οι δύο εκθέσεις εμφάνισαν σημαντική αύξηση στον αριθμό μεταστάσεων των πνευμόνων, με την ομάδα των 15 mW/cm^2 να έχει την μεγαλύτερη συχνότητα.

Οι επιπτώσεις αυτών των ευρημάτων είναι δύσκολο να εκτιμηθούν και οι μελέτες ανάπτυξης καρκίνου του μαστού έρχονται σε αντίθεση με πρόσφατες μελέτες. Οι ομοιότητες ανάμεσα στην ομάδα των 5 mW/cm^2 και αυτήν της πίεσης περιορισμού προτείνουν ότι οι αλλαγές στην λανθάνουσα κατάσταση του όγκου και της μετάστασης του πνεύμονα ίσως να προκλήθηκαν λόγω άγχους παρά από έκθεση σε ακτινοβολία RF. Κάποιοι ερευνητές έδειξαν ότι και το άγχος μπορεί να επιταχύνει την ανάπτυξη του ιού MTV στα ποντίκια C3H αλλά και να αυξήσει το ποσοστό των μεταστάσεων του πνεύμονα. Η δοσιμετρία σε αυτή την μελέτη είναι επίσης αμφίβολη επειδή βασίζεται πάνω σε πτώματα ζώων που εκτέθηκαν σε ένταση υψηλής ισχύος για λίγο διάστημα και στην συνέχεια εκτέθηκαν για μεγάλο διάστημα σε εντάσεις χαμηλότερης ισχύος.

Μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης σε αρουραίους

Toler, 1988

Αυτή η μελέτη εξέτασε τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ακτινοβολία RF σε πολλαπλά ισοδύναμα σημεία σε αρουραίους. Τα ζώα εκτέθηκαν για 22 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για 6 μήνες

σε ακτινοβολία συχνότητας 435MHz με 1mW/cm^2 και εξαγόμενο SAR 0.3W/Kg περίπου. Δείγματα αίματος αναλύθηκαν για κορτικοστερόνη, προλακτίνη και κατηχολαμίνη. Μετρήθηκαν τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκά αιμοσφαίρια, ο αιματοκρίτης, οι σφυγμοί της καρδιάς και η μέση αρτηριακή πίεση του αίματος. Δεν υπήρχαν διαφορές για κανένα από τα ισοδύναμα σημεία που μετρήθηκαν ανάμεσα στα δύο γκρουπ έκθεσης. Παρόλο που η μελέτη αυτή κράτησε μόνο 6 μήνες, έδειξε ότι η χρόνια έκθεση σε ακτινοβολία RF χαμηλού επιπέδου δεν είχε καμία επιρροή στην υγεία.

Chou, 1992

Αυτή η μελέτη εξέτασε την επιρροή της μακροχρόνιας έκθεσης σε παλμική ακτινοβολία στην μακροζωία και γενικότερα στην υγεία των αρουραίων. Οι αρουραίοι εκτέθηκαν σε παλμική ακτινοβολία RF συχνότητας 2450MHz με 800 παλμούς/sec. Ο μέσος SAR μειώθηκε και διακυμάνθηκε από 0.15W/Kg έως 0.4W/Kg . Οι αρουραίοι εκτέθηκαν για 21.5 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για 25 μήνες ενώ η ηλικία τους ήταν 8 εβδομάδες. Κατά την διάρκεια της έκθεσης λήφθηκαν ανά διαστήματα δείγματα αίματος για ανάλυση των ορών, των επιπέδων κορτικοστερόνης και των κυττάρων του αίματος. Καθημερινά γίνονταν μετρήσεις της μάζας του σώματος και των ποσοτήτων νερού και των τροφίμων που καταναλώθηκαν. Στο τέλος των 25 μηνών όσα ζώα επιβίωσαν θυσιάστηκαν και εξετάστηκαν ιστοπαθολογικά.

Σε όλη την μελέτη έγιναν 155 συγκρίσεις. Οι μελετητές συμπέραναν ότι η έκθεση σε ακτινοβολία RF δεν είχε βιολογικά σημαντικές επιρροές στην γενική υγεία των ζώων. Στατιστικά υπήρξαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες στα επίπεδα κορτικοστερόνης και ανοσολογικής επάρκειας ανάμεσα, αλλά αυτά τα ευρήματα δεν επιβεβαιώθηκαν. Ένα πλεόνασμα πρωτεϊνών κακοηθών όγκων βρέθηκε στα εκτεθειμένα ζώα όταν όλοι οι τύποι κακοηθών όγκων εξετάστηκαν μαζί. Δεν υπήρξαν όμως διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες για κανένα συγκεκριμένο τύπο κακοηθών όγκων ακόμα και όταν προστέθηκαν στο μέτρημα και οι καλοήθεις όγκοι.

Πρόσφατες μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης σε κανονικά ποντίκια

Liddle, 1994

Αυτή η μελέτη εξέτασε τα αποτελέσματα της έκθεσης ποντικίων σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2450MHz για όλη την περίοδο της ζωής τους. Τα ποντίκια εκτέθηκαν για 1 ώρα την ημέρα, 5 ημέρες την εβδομάδα σε 3 ή 10mW/cm^2 και ο SAR υπολογίστηκε 2 και 6.8W/Kg αντίστοιχα. Η διάρκεια της ζωής στα ποντίκια που εκτέθηκαν σε 10mW/cm^2 ήταν σημαντικά μειωμένη, 572 ημέρες σε σύγκριση με τις 706 ημέρες της ομάδας της εικονικής έκθεσης. Παρόλα αυτά, στα 3mW/cm^2 τα ζώα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF έζησαν 738 ημέρες, δηλαδή λίγο αλλά όχι σημαντικά περισσότερο από ότι η ομάδα εικονικής έκθεσης. Οι ερευνητές δήλωσαν ότι η θερμότητα από την έκθεση στα 10mW/cm^2 ήταν αρκετά αγχώδης για να μειώσει την διάρκεια της ζωής.

Wu, 1994

Αυτή η μελέτη εξέτασε την πιθανότητα η ακτινοβολία RF να προήγαγε λόγω χημικών, όγκο του παχέως εντέρου στα ποντίκια. Στα ζώα χορηγήθηκε dimethyl – hydrazine μέσω ένεσης (DMH, ένα χημικό καρκινογόνο) και ορισμένα από αυτά εκτέθηκαν επιπλέον σε ακτινοβολία RF συχνότητας 2450

KHz. Η έκθεση στην ακτινοβολία ήταν για 3 ώρες την ημέρα, 6 ημέρες την εβδομάδα και για 5 μήνες στα $10\text{mW}/\text{cm}^2$. (Ο SAR υπολογίστηκε στα $10\text{-}12\text{ W/Kg}$) Μία ομάδα που δέχτηκε DMH πήρε επίσης και τον επιταχυντή όγκου 12-*O*-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA) σαν θετικό έλεγχο. Η μελέτη δεν βρήκε διαφορές στον αριθμό ή στο μέγεθος του όγκου στην ομάδα του DMH σε σχέση με την ομάδα που πήρε DMH και εκτέθηκε και σε ακτινοβολία RF. Η ομάδα DMH και TPA είχε σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό και μέγεθος όγκων από ότι η ομάδα DMH ή ομάδα DMH και ακτινοβολίας RF.

Μελέτες μακροπρόθεσμης έκθεσης σε ποντίκια επιρρεπή σε όγκο

Toler, 1997

Αυτή η μελέτη εξέτασε το αποτέλεσμα μακροχρόνιας έκθεσης σε ακτινοβολία RF πάνω σε ποντίκια επιρρεπή σε όγκο του μαστού. Σε αυτό το μοντέλο, ο όγκος στον μαστό από MTV αναπτύσσεται κανονικά στο 50% των ζώων. Τα ποντίκια εκτέθηκαν για 22 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για 20 μήνες σε παλμική ακτινοβολία RF συχνότητας 435 MHz (10.000 παλμοί/δευτερόλεπτο και εύρος παλμού 1μs). Η πυκνότητα ισχύος ήταν $1\text{mW}/\text{cm}^2$ που προκαλούσε ένα SAR 0.32 W/Kg . Μια άλλη ομάδα ποντικών υποβλήθηκε σε εικονική έκθεση κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τα ποντίκια εξετάζονται κάθε εβδομάδα και τα ζώα που βρέθηκαν νεκρά ή ετοιμοθάνατα υπεβλήθησαν σε άμεση νεκροψία. Στο τέλος των 20 μηνών, όσα επέζησαν θανατώθηκαν και διεξήχθησαν οι τελικές νεκροψίες. Οι αναλύσεις δεν έδειξαν διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων όσον αφορά τον χρόνο ανίχνευσης και τον ρυθμό ανάπτυξης όγκου του μαστού, ούτε υπήρξαν διαφορές στον αριθμό των κακοηθών μεταστατικών ή καλοηθών όγκων. Τέλος αναφέρουμε ότι δεν υπήρχε διαφορά στις συνθήκες επιβίωσης μεταξύ των δύο ομάδων.

Frei, 1998

Αυτές οι μελέτες χρησιμοποίησαν ένα σχέδιο παρόμοιο με αυτό του Toler, εκτός του ότι τα επιρρεπή ποντίκια στον όγκο του μαστού, εκτέθηκαν σε ακτινοβολία συχνότητας 2450MHz. Ορισμένα ποντίκια εκτέθηκαν σε εικονική ακτινοβολία και τα υπόλοιπα σε ακτινοβολία συχνότητας 2450 MHz για 20 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για 18 μήνες. Ο μετρούμενος SAR ήταν 0.3W/Kg και 1.0 W/Kg αντίστοιχα. Δεν σημειώθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στην εμφάνιση, στην καθυστέρηση ή τον ρυθμό ανάπτυξης του όγκου του μαστού. Ομοίως, δεν βρέθηκαν διαφορές στον αριθμό των κακοηθών μεταστατικών ή καλοηθών όγκων. Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, σε σχέση με το αποτέλεσμα του Repacholi που συζητούνται παρακάτω, είναι ότι δεν υπήρξε αύξηση εμφάνισης λεμφώματος στα ποντίκια που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF. Επίσης δεν βρέθηκε διαφορά στις συνθήκες επιβίωσης των δύο ομάδων.

Repacholi, 1997

Αυτή η μελέτη εξέτασε την πιθανότητα η μακροπρόθεσμη έκθεση σε ακτινοβολία RF παλμικά διαμορφωμένη, παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται στα ψηφιακά κινητά τηλέφωνα, να προκαλούσε αύξηση στην εμφάνιση λεμφωπλαστικού λεμφώματος σε ένα διαγενετικό τύπο ποντικίου. Αυτά τα διαγενετικά ποντίκια είχαν την προδιάθεση για ανάπτυξη λεμφωπλαστικού λεμφώματος. Τα ζώα υπεβλήθησαν σε δύο ημίωρες εκθέσεις την ημέρα συχνότητας 900 MHz (217 παλμοί/

δευτερόλεπτο και εύρους 0.6ms) για 18 μήνες. Ανάλογα με το μέγεθος των ποντικών και τον προσανατολισμό τους στο πεδίο, η προσπιπτούμενη ισχύς διακυμάνθηκε από 0,26 μέχρι 1,3 mW/cm² και οι SAR από 0,008 W/Kg έως 4,2 W/Kg.

Οι συγγραφείς ανέφεραν μια αύξηση στην εμφάνιση όλων των τύπων λεμφώματος στα ποντίκια που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF σε σύγκριση με τα ποντίκια ελέγχου (43% σε σύγκριση με 22%). Η εμφάνιση λεμφωπλαστικού λεμφώματος δεν ήταν σημαντικά διαφορετική. Μία ανάλυση των δεδομένων, έδειξε ότι ο κίνδυνος για ανάπτυξη λεμφώματος ήταν σημαντικά υψηλότερος στα ποντίκια που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία RF παρά στην ομάδα εικονικής έκθεσης. Οι συγγραφείς δεν θεώρησαν ότι η έκθεση σε ακτινοβολία RF θα μπορούσε να προκαλέσει λέμφωμα σε κανονικά ποντίκια και θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συχνή εμφάνιση λεμφώματος δεν έχει παρατηρηθεί από άλλες μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης ζώων.

Περίληψη μακροχρόνιας έκθεσης ζώων

Συνολικά αυτές οι μελέτες δεν παρουσιάζουν κάποια τρανταχτή απόδειξη ότι η μακροχρόνια έκθεση σε ακτινοβολία RF έχει αρνητική επίπτωση στη γενική υγεία των ζώων. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι η έκθεση στην ακτινοβολία RF προκαλεί καρκινογένεση, δηλαδή δεν υπάρχουν αποδείξεις για γονοτοξικότητα.

Υπάρχουν αντικρουόμενα στοιχεία σχετικά με την πιθανότητα ότι η ακτινοβολία RF προκαλεί επιγενετική δραστηριότητα, δηλαδή ότι προάγει την ανάπτυξη όγκων. Ο Repacholi ανέφερε επιτάχυνση στην ανάπτυξη λεμφώματος σε διαγενετικά ποντίκια επιρρεπή σε λέμφωμα και ο Szmigielski ανέφερε επιτάχυνση στην ανάπτυξη δερματικών όγκων και όγκων του μαστού. Αντίθετα, οι μελέτες των Toler και Frei δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε ακτινοβολία RF δεν σχετίζεται με την ανάπτυξη όγκων του μαστού. Η μελέτη του Wu δείχνει ότι η μακροχρόνια έκθεση σε ακτινοβολία RF δεν σχετίζεται με εμφάνιση όγκων του παχέως εντέρου που προκαλούνται χημικά και πρόσφατες μελέτες του Imaida δείχνουν ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση σε ακτινοβολία RF δεν σχετίζεται με επιτάχυνση στην ανάπτυξη καρκίνου στο συκώτι. Σίγουρα, καμία κατάσταση ασθένειας καρκίνου ή οτιδήποτε άλλο δεν έχει συσχετιστεί με μακροχρόνια έκθεση- σε ακτινοβολία RF σε ποντίκια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΩΝ

Η βιοφυσική εκτίμηση δείχνει ότι είναι απίθανο να περιμένουμε ότι η ακτινοβολία RF από κινητά τηλέφωνα θα είχε βιολογικές επιπτώσεις στα υποθερμικά επίπεδα ισχύος που χαρακτηρίζουν την παρούσα γενιά των κινητών τηλεφώνων. Οι επιδημιολογικές μελέτες που έχουν εκδοθεί και αφορούν την ακτινοβολία RF και την εμφάνιση καρκίνου δεν αποδεικνύουν μια τέτοια συσχέτιση μεταξύ τους, καθώς επίσης οι μελέτες αυτές είναι λίγες και όλες πάσχουν από ανεπάρκεια στην αξιολόγηση της έκθεσης. Οι μελέτες κινητών τηλεφώνων είναι περιορισμένες στην δοκιμή για γονοτοξικότητα. Παρόλο που λίγες από αυτές τις μελέτες πρότειναν την πιθανότητα γονοτοξικότητας, η γενική άποψη είναι ότι η

ακτινοβολία RF δεν είναι γονοτοξική. Η αξιολόγηση της επιγενετικής ιδιότητας της ακτινοβολίας RF σε καλλιέργειες κυττάρων είναι περιορισμένη και τα αποτελέσματα στην καλύτερη περίπτωση είναι διφορούμενα. Οι μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης ζώων δεν παρουσιάζουν κάποια τρανταχτή απόδειξη ότι η μακροχρόνια έκθεση έχει αρνητική επίδραση στη υγεία και δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι η ακτινοβολία RF είναι γονοτοξική στα ζώα. Παρόλα αυτά, κάποιες από τις μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης σημειώνουν την πιθανότητα ότι η ακτινοβολία RF μπορεί να προκαλεί επιγενετική δραστηριότητα, ειδικά σε υψηλά επίπεδα έκθεσης.

Μία γενική εκτίμηση δείχνει ότι τα στοιχεία για πιθανό συσχετισμό μεταξύ έκθεσης σε ακτινοβολία RF και καρκίνου είναι ανεπαρκή. Παρόλα αυτά, τα σχετικά δεδομένα σε μερικές περιπτώσεις είναι πολύ λίγα. Συγκεκριμένα, τα επιδημιολογικά στοιχεία είναι περιορισμένα και υπάρχουν λίγα περιθώρια άμεσης βελτίωσης, καθώς ο πληθυσμός που εκτίθενται είναι σχετικά μικρός και η αξιολόγηση της έκθεσης παραμένει ένα σοβαρό πρόβλημα. Οι μελέτες μακροχρόνιας έκθεσης των ζώων είναι επίσης ανεπαρκείς. Παρόλο που πρόσφατα εκδόθηκαν τέσσερις μεγάλες μελέτες, όλα τα ζώα ήταν επιρρεπή στον όγκο και όλα χρησιμοποίησαν μόνο ένα πρωτόκολλο έκθεσης. Μεγάλες έρευνες έκθεσης κανονικών ζώων (και όχι επιρρεπή σε όγκο) εφ' όρου ζωής με πολλαπλά επίπεδα έκθεσης και υψηλή ποιότητα δοσιμετρίας θα ήταν μεγάλης αξίας, αλλά τέτοιες μελέτες είναι ακριβές και τεχνικά δύσκολες. Περαιτέρω εκτίμηση της πιθανότητας η ακτινοβολία RF να έχει επιγενετική δραστηριότητα σε υποθερικά επίπεδα ισχύος θα ήταν επίσης χρήσιμη, παρόλο που δεν υπάρχει βιολογική εξήγηση για να σχεδιαστούν τέτοιες μελέτες.

Συχνά δηλώνεται ότι ο κίνδυνος από έκθεση σε ακτινοβολία RF ακόμα και αν υπάρχει είναι πολύ μικρός για να απειλήσει την δημόσια υγεία. Παρόλα αυτά, αν οι κίνδυνοι εμφάνισης καρκίνου που αναφέρονται σε μερικές από αυτές τις μελέτες ήταν αληθινοί, τότε η ακτινοβολία RF θα μπορούσε να είναι ένας σημαντικός περιβαλλοντολογικός παράγοντας καρκίνου. Εάν η έκθεση επηρεάζει πολλούς ανθρώπους και το αποτέλεσμα είναι υπερβολικά δυσμενές, όπως είναι ο καρκίνος, ακόμα και μια μικρή αύξηση στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι ένας σοβαρός κίνδυνος για τη δημόσια υγεία. Από την άλλη πλευρά, μια μικρή αύξηση στον κίνδυνο μιας σπάνιας αρρώστιας έχει μικρές επιπτώσεις για τον γενικό πληθυσμό, που στην καθημερινή ζωή του αντιμετωπίζει πολύ μεγαλύτερους κινδύνους.

Μόνο εάνδειχθεί ότι η ακτινοβολία RF είναι καρκινογενής και εάν υπάρξει κάποια κατανόηση των συνθηκών κάτω από τις οποίες παρουσιάζεται αυτός ο κίνδυνος καρκίνου, μπορούν να ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα για να προστατευτεί η δημόσια υγεία. Το θέμα λοιπόν, είναι η αξιολόγηση του κινδύνου. Δηλαδή, μπορεί η ακτινοβολία RF να προκαλέσει ή να συνεισφέρει στην ανάπτυξη καρκίνου κάτω από συνθήκες έκθεσης που είναι σχετικές με την ανθρώπινη υγεία; Ακόμα και μετά από δεκαετίες μελετών, δεν έχει αποδειχθεί ότι η ακτινοβολία RF είναι καρκινογενής. Από τη άλλη, είναι επίσης φανερό ότι δεν θα μπορούσαμε να αποδείξουμε ποτέ ότι οι κίνδυνοι για την υγεία από έκθεση σε ακτινοβολία RF των κινητών τηλεφώνων είναι αδύνατοι. Η ίδια η φύση της έρευνας του κινδύνου και της επιστημονικής μεθοδολογίας συνεπάγεται ότι πάντα θα υπάρχουν σκοτεινά σημεία και απροσδόκητα αποτελέσματα. Επιπλέον επιδημιολογικές και εργαστηριακές έρευνες θα μπορούσαν να

εξετάσουν κάποιες από αυτές τις αβεβαιότητες, αλλά δεν είναι αληθοφανές να περιμένουμε ότι θα μπορούσαν να τις εξετάσουν όλες.

Εν μέρει, η ατελείωτη αντιπαράθεση σχετικά με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τον καρκίνο αντικατροπτίζει τις έμφυτες δυσκολίες στην αξιολόγηση του κινδύνου για καρκίνο. Είναι σχετικά εύκολο να αποδείξουμε ότι η έκθεση σε ένα παράγοντα δεν σχετίζεται με μια στατιστικά συγκρίσιμη αύξηση της εμφάνισης κάποιου συγκεκριμένου είδους καρκίνου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες έκθεσης. Είναι αδύνατο όμως να αποδείξουμε ότι η έκθεση δεν συσχετίζεται με καμιά μορφή καρκίνου κάτω από όλες τις πιθανές συνθήκες έκθεσης. Η αντιπαράθεση επίσης αντικατροπτίζει το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποια απλή αιτία καρκίνου και έτσι η αναμφίβολη ανάδειξη καρκινογένεσης είναι συχνά αδύνατη. Το επιστημονικό ζήτημα δεν είναι αν μπορεί η ακτινοβολία RF από κινητά τηλέφωνα να προκαλέσει καρκίνο, καθώς αυτή η ερώτηση δεν μπορεί ποτέ να απαντηθεί αρνητικά. Οι ερωτήσεις είναι μάλλον, πόσο ισχυρές είναι οι αποδείξεις που σχετίζουν την ακτινοβολία RF από κινητά με τον καρκίνο και πόσο έντονα έχουμε ψάξει για αποδείξεις ότι η ακτινοβολία RF προκαλεί καρκίνο.

Όπως προσπάθησε να δείξει αυτή η έρευνα, το να απαντήσουμε τις παραπάνω ερωτήσεις απαιτεί εξέταση ενός πολύπλευρου όγκου αποδείξεων, σε πεδία επιστημών από βιοφυσική μέχρι επιδημιολογία και κανένα στοιχείο δεν μπορεί να είναι απόλυτο. Επιπρόσθετα, επειδή δεν υπάρχουν ακριβείς κανόνες για να αποφασίσουμε πόση έρευνα θα είναι αρκετή, οι απαντήσεις θα είναι πάντα υποκειμενικές. Μάλιστα έχει ειπωθεί ότι η αξιολόγηση κινδύνου δεν είναι καν επιστήμη, αλλά ένα είδος ανάλυσης συμπεριφοράς που απαιτεί μία μεγάλη ποσότητα επιστημονικών στοιχείων. Σε μια τέτοια περιοχή, διαφωνίες για μικρούς κινδύνους μπορεί να λυθούν από πολιτικά συμφέροντα, παρά από κάποια επιστημονική γνώμη. Εάν αυτό συμβαίνει για την ακτινοβολία RF και τα κινητά τηλέφωνα, η επικοινωνία και η διαχείριση του κινδύνου θα είναι πολύπλοκα ζητήματα.

Η αντιπαράθεση για τα κινητά τηλέφωνα και τον καρκίνο μάλλον θα συνεχιστεί είτε μέχρι να εδραιωθεί κάποια σοβαρή απόδειξη για κίνδυνο είτε μέχρι το κοινό, συμπεριλαμβανομένων πολιτικών, επιχειρηματιών, δικηγόρων και δημοσιογράφων, να καταλήξει ότι υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα πραγματικού και αξιοσημείωτου κινδύνου. Ίσως η μεγαλύτερη συνεισφορά που μπορούν να κάνουν οι επιστήμονες σε αυτή τη διαμάχη είναι να βοηθήσουν να ενημερωθεί το κοινό για την αβέβαιη φύση της αξιολόγησης κινδύνου και για το εύρος και το βάθος της ανάλυσης που απαιτείται για να επιτευχθεί μια υψηλής ποιότητας αξιολόγηση κινδύνου [10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΑ ΑΡΘΡΑ

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΘΩΩΝΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ

ΑΚΙΝΔΥΝΑ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ "ΜΕΧΡΙ ΝΕΩΤΕΡΑΣ" (Δημοσίευση: 16/01/2004)

Μέχρι σήμερα, δεν έχουν υπάρξει αξιόπιστες ενδείξεις ότι η ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων είναι επικίνδυνη σύμφωνα με μεγάλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για λογαριασμό της βρετανικής κυβέρνησης.

Η Συμβουλευτική Επιτροπή για τη μη ιονίζουσα Ακτινοβολία ανασκόπησε τα αποτελέσματα όλων των ερευνών που έχουν γίνει για το θέμα τα τελευταία τρία χρόνια. Όπως προκύπτει, "δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας" για πρόκληση εγκεφαλικών όγκων, ή άλλων ανεπιθύμητων δράσεων στην υγεία. Το ίδιο βρέθηκε να ισχύει και για τις κεραίες κινητής τηλεφωνίας. Όμως, διευκρινίζεται ότι τα συμπεράσματα αυτά δεν πρέπει να θεωρούνται δεδομένα, καθώς τα κινητά χρησιμοποιούνται ευρέως εδώ και μόλις δέκα χρόνια και οι επιπτώσεις τους στον ανθρώπινο οργανισμό ίσως δεν έχουν γίνει ακόμα εμφανείς.

Ειδικά όσον αφορά τα παιδιά, η επιτροπή συμβουλεύει να χρησιμοποιούν τα κινητά μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητο. Πάντως, η εικόνα θα ξεκαθαριστεί περισσότερο όταν ολοκληρωθούν νέες έρευνες που πραγματοποιούνται σε άλλες χώρες.

ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ ΕΠΙΒΛΑΒΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΜΑΣ; (Δημοσίευση: 21/02/2003)

Η Επιτροπή αναμένει την ολοκλήρωση των μελετών που θα δείξουν αν υπάρχουν ή όχι προβλήματα στην υγεία από τη χρήση κινητών τηλεφώνων και τις κεραίες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτό προκύπτει από την απάντηση του αρμόδιου Επιτρόπου Ερκι Λικάνεν, σε σχετική ερώτηση του ευρωβουλευτή της Νέας Δημοκρατίας Γιάννη Μαρίνου, ο οποίος εξέφραζε την ανησυχία του μετά από δημοσιεύματα του ελληνικού και διεθνούς τύπου, για τις συνέπειες που έχουν οι κεραίες αυτές και τα κινητά τηλέφωνα στη δημόσια υγεία.

Σύμφωνα με την ανακοίνωση της ΝΔ, ο Επίτροπος σημειώνει ότι μέχρι τώρα δεν έχει αποδειχθεί αν η έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των κινητών και ασυρμάτων τηλεφώνων είναι δυνητικά επιβλαβής σε επίπεδα κατώτερα των συνιστώμενων ορίων. Ο κ. Λικάνεν πληροφορεί τον κ. Μαρίνο ότι η Επιτροπή υποστηρίζει τη σύνταξη ευρείας κλίμακας επιδημιολογικού σχεδίου "interphone", σκοπός του οποίου είναι να προσδιορισθεί κατά πόσον η χρήση κινητού τηλεφώνου αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου και κατά πόσο η ακτινοβολία των ραδιοσυχνοτήτων (RF) που εκπέμπεται από τα κινητά είναι καρκινογόνος. Προσθέτει ωστόσο ότι τα αποτελέσματα αυτού του σχεδίου δεν θα είναι

διαθέσιμα πριν από το 2004-2005, οπότε και θα συναχθούν τεκμηριωμένα συμπεράσματα και μέχρι τότε η Επιτροπή παρακολουθεί κάθε νέο επιστημονικό στοιχείο ώστε να αντιδράσει εγκαίρως.

ΑΘΩΩΝΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΓΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΟΙ ΑΥΣΤΡΑΛΟΙ (Δημοσίευση: 01/09/2002)

Η απειροελάχιστη ραδιενέργεια που εκπέμπουν τα κινητά τηλέφωνα δεν αυξάνει τον κίνδυνο να προσβληθεί ο χρήστης τους από καρκίνο, σύμφωνα με την μεγαλύτερη και αυστηρότερη μελέτη που έχει γίνει έως τώρα στην Αυστραλία. Για τη μελέτη αυτή, που έγινε στην Αδελαΐδα από το Παναυστραλιανό Συμβούλιο Ιατρικών Ερευνών, χρησιμοποιήθηκαν 1600 ποντίκια, άλλα γενετικά μεταλλαγμένα και άλλα άγρια, τα οποία εκτέθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα ραδιενέργειας κινητών τηλεφώνων επί μία ώρα ημερησίως επί δύο χρόνια και δαπανήθηκε ένα εκατομμύριο δολάρια. Αν και τα πορίσματα από τα πειράματα αυτά που έγιναν σε ποντίκια δεν μπορούν να ισχύουν απόλυτα και για τους ανθρώπους, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει κίνδυνος να προσβληθούν από καρκίνο οι χρήστες των κινητών.

Το συμπέρασμα αυτό έχει ξεχωρη σημασία αφού μια, μικρότερης έκτασης ανάλογη έρευνα που είχε γίνει παλαιότερα στην Αδελαΐδα, είχε εγείρει τις πρώτες ανησυχίες.

Ο επικεφαλής της ερευνητικής ομάδας, Τίμ Κούχελ, δήλωσε ότι ανάλογο πείραμα γίνεται και στην Ιταλία και τα αποτελέσματά της θα ανακοινωθούν αργότερα.

"Πρέπει να ακολουθήσουν κι άλλα πειράματα για να διαπιστώσουμε αν τα κινητά προκαλούν πονοκεφάλους και αϋπνίες. Και τα ερωτήματά μας αυτά θα απαντηθούν ικανοποιητικά μόνο με πειράματα σε ανθρώπους στην Αυστραλία και το εξωτερικό" είπε ο κ. Κούχελ.

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΔΕΝ ΑΥΞΑΝΟΥΝ ΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ ΓΙΑ ΚΑΡΚΙΝΟ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ (Δημοσίευση: 11/11/2001)

Η έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία δεν αυξάνει τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου στον εγκέφαλο, βρίσκει μια μελέτη επιστημόνων που εργάζονται στην βιομηχανία ηλεκτρισμού και δημοσιεύεται στην περιοδική έκδοση Occupational and Environmental Medicine.

Ερευνητές από το Ινστιτούτο Υγιεινής της Εργασίας του πανεπιστημίου του Birmingham στην Βρετανία κατένειμαν τις αιτίες θανάτων περίπου 84.000 εργαζομένων στην παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Αγγλία και την Ουαλία. Η περίοδος της μελέτης τους ήταν από το 1973 έως το 1997. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν νέες τεχνικές για τον προσδιορισμό των επιπέδων της έκθεσης στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και για τον υπολογισμό των αθροιστικών ποσών έκθεσης καθ' όλη τη ζωή των εργαζομένων, όπως επίσης και για την έκθεση κατά τα τελευταία 5 χρόνια της ζωής τους. Οι ρυθμοί θανάτων από καρκίνο εγκεφάλου καθώς και από όλα τα άλλα αίτια, των εργαζομένων στην ηλεκτρική βιομηχανία, συγκρίθηκαν με τις στατιστικές σε εθνικό επίπεδο για να διαπιστωθεί αν υπήρχε μεγαλύτερος κίνδυνος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ρυθμοί θανάτων από καρκίνο εγκεφάλου ήταν πολύ κοντά με αυτούς που αναμένονταν για όλο τον πληθυσμό. Και δεν υπήρχε αυξημένος κίνδυνος θανάτου είτε ως

αποτέλεσμα έκθεσης αθροιστικά σε όλη τη ζωή τους, είτε έκθεσης στα τελευταία 5 χρόνια των εργαζομένων.

Ενδιαφέρον έχει ότι η πιο πρόσφατη έκθεση έδειχνε ότι μάλλον προστάτευε από το θάνατο λόγω άλλων αιτίων πλην του καρκίνου εγκεφάλου. Αλλά κοινωνιολογικοί και οικονομικοί παράγοντες έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην αύξηση του κινδύνου να συμβεί πρόωρος θάνατος. Οι συγγραφείς συμπεραίνουν ότι δεν παρατηρήθηκε αυξημένος κίνδυνος θανάτου από καρκίνο εγκεφάλου μεταξύ των εργαζομένων

ΑΘΩΑ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΡΚΙΝΟ. ΑΥΣΤΗΡΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΓΑΛΛΟΥΣ

(Δημοσίευση: 09/02/2001)

Καμιά επιστημονική μελέτη δεν έχει καταλήξει μέχρι τώρα στο συμπέρασμα ότι υπάρχει κίνδυνος για εμφάνιση καρκίνου στους χρήστες κινητών τηλεφώνων, αλλά θεωρείται ότι πρέπει να δίνονται αυστηρές οδηγίες για τη χρήση τους, ώστε η έκθεση των χρηστών στην ακτινοβολία να είναι μικρή. Αυτά είναι τα συμπεράσματα ομάδας γάλλων ειδικών, που ασχολήθηκαν με πολλές δημοσιευμένες μελέτες για το θέμα αυτό. Η ομάδα αυτή που δημιουργήθηκε τον περασμένο Ιούνιο και στελεχώνεται από επιστήμονες όλων των ειδικοτήτων (φυσικούς, ακτινολόγους, επιδημιολόγους κλπ) έχει αναλύσει σε βάθος 946 μελέτες και δημοσιεύματα σχετικά με τα κινητά τηλέφωνα ώστε να καταλήξει σε κάποια συμπεράσματα για το ζήτημα αυτό.

Τώρα, μετά από πέντε χρόνια από την κυκλοφορία των κινητών τηλεφώνων οι μέχρι τώρα διαθέσιμες μελέτες που έχουν γίνει τόσο σε ανθρώπους όσο και σε ζώα, δεν επιτρέπουν να καταλήξει κανείς στο συμπέρασμα ότι υπάρχει από τη χρήση τους κίνδυνος καρκίνου στο κεφάλι, εξήγησε στη διάρκεια συνέντευξης Τύπου ο Δρ. Ντένις Ζμίρου της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου της Γκρενόμπλ, ο οποίος ήταν επικεφαλής της ομάδας των γάλλων ειδικών. Πολλές επιδημιολογικές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ σχετικά με την πιθανή σύνδεση της χρήσης των κινητών τηλεφώνων με την εμφάνιση καρκίνου, δεν επιτρέπουν να καταλήξει κανείς στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αυξημένος κίνδυνος από τη λογική χρήση των κινητών. Ωστόσο, ακόμα και εάν δεν υπάρχει κανείς κίνδυνος, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία, οι γάλλοι ειδικοί δεν αποκλείουν την εμφάνιση άλλων προβλημάτων υγείας που ενδέχεται να εκδηλωθούν μερικά χρόνια αργότερα. Προς το παρόν εκείνο που προέχει κατά την γνώμη τους, είναι η όσο το δυνατόν λιγότερη έκθεση των χρηστών στην ακτινοβολία και η μικρή χρήση των κινητών από τα παιδιά.

ΜΕΓΑΛΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΔΑΝΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

(Δημοσίευση: 07/02/2001)

Μία έρευνα στη Δανία, στην οποία μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης κινητού σε 420.095 χρήστες έδειξε ότι δεν υπάρχουν αυξημένοι κίνδυνοι εμφάνισης καρκίνου, αλλά δεν απέκλεισε άλλες βλάβες στην υγεία. Η έρευνα αυτή ανακοινώθηκε από το δανέζικο Εθνικό Ινστιτούτο Μελετών του Καρκίνου. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι 'Η πρώτη ανά τον κόσμο έρευνα για την πιθανή σύνδεση της χρήσης κινητών τηλεφώνων με την εμφάνιση καρκίνου, έδειξε ότι δεν υπάρχει καμία σχέση της εμφάνισης της

νόσου (καρκίνος εγκεφάλου η λευχαιμία) με τα κινητά τηλέφωνα'. Ωστόσο δεν διευκρινίζεται σαφώς εάν υπάρχουν άλλοι κίνδυνοι για την υγεία των χρηστών κινητών τηλεφώνων, δήλωσε ο ερευνητής Δρ. Κρίστοφερ Γιόχανσεν. Τόνισε δε χαρακτηριστικά ότι 'Αντιμετωπίσαμε μόνο το ζήτημα του καρκίνου. Δεν μπορούμε να αποκλείσουμε το γεγονός ότι η μεγάλη χρήση των κινητών τηλεφώνων δεν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη μύτη, στο κεφάλι, ημικρανίες, πονοκέφαλο και άλλα συμπτώματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα του χρήστη'.

Αρρώστιες όπως είναι η νόσος του Πάρκινσον ή η νόσος του Αλτσχάιμερ καθώς και διάφορες μορφές εκδήλωσης άνοιας ή νευρολογικών προβλημάτων μπορεί επίσης να σχετίζονται με τα κινητά τηλέφωνα καθώς επίσης και παθήσεις του δέρματος, στην περίπτωση, που η συσκευή του κινητού τηλεφώνου έρχεται σε επαφή με το δέρμα του χρήστη, πρόσθεσε ο Δρ Γιόχανσεν. Σε άλλο σημείο των δηλώσεων του ο Δρ. Γιόχανσεν τόνισε ότι μια τόσο μεγάλη και δύσκολη μελέτη μπορεί να διεξαχθεί σωστά μόνο στην Σκανδιναβία, όπου το σύστημα υποχρεωτικής καταγραφής των πολιτών ελέγχεται ανελλιπώς και οι καταγεγραμμένες περιπτώσεις εμφάνισης καρκίνου φτάνουν πολλά χρόνια πίσω, μέχρι την περίοδο του Β Παγκοσμίου Πολέμου. Καταλήγοντας ο Δρ Γιόχανσεν χαρακτήρισε την μελέτη πολύ σημαντική και τόνισε ότι 'είναι η πρώτη που πραγματοποιείται παγκοσμίως και βασίζεται σε ανάλυση και μελέτη πολλών χιλιάδων πολιτών-χρηστών κινητών τηλεφώνων'.

ΑΘΩΑ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΣΤΗΝ ΑΜΕΡΙΚΗ (Δημοσίευση: 27/12/2000)

Τον τελευταίο καιρό η συζήτηση που αφορά στην ασφάλεια των κινητών τηλεφώνων έχει φουντώσει. Τα μικροκύματα που εκπέμπει για τη μετάδοση του σήματος, είναι τελικά εχθροί της υγείας μας; Πρόσφατα, η κυβέρνηση της Μ. Βρετανίας αποφάσισε να αναγράφεται στις συσκευασίες των κινητών προειδοποίηση σχετικά με τους κινδύνους από την υπερβολική χρήση τους. Δύο νέες έρευνες όμως, που έγιναν στις ΗΠΑ έρχονται να απαλλάξουν τα κινητά τηλέφωνα, από μια τουλάχιστον από τις κατηγορίες που τα βαραινούν και που συσχετίζει τη χρήση τους με την εμφάνιση καρκίνου του εγκεφάλου. Η πρώτη έγινε από το Αμερικανικό Αντικαρκινικό Ινστιτούτο, υπό τους δρ. Πίτερ Ίνσκιπ και τη δρ. Μάρθα Σ. Λίνετ και δημοσιεύθηκε από την «Ιατρική επιθεώρηση της Νέας Αγγλίας» και η δεύτερη, υπό τον δρ. Τζόσουα Ε. Μάσκατ, χρηματοδοτήθηκε από την αμερικανική βιομηχανία κινητών τηλεφώνων και την ομοσπονδιακή κυβέρνηση και δημοσιεύθηκε στην «Επιθεώρηση του Αμερικανικού Ιατρικού Συλλόγου».

Στις ΗΠΑ 90.000.000 άνθρωποι χρησιμοποιούν κινητά, ενώ οι εγκεφαλικοί όγκοι φθάνουν τους 16.500 ετησίως. Το ερώτημα για τον καρκίνο του εγκεφάλου πήρε διαστάσεις το 1993, όταν στο σώου του Larry King εμφανίστηκε κάποιος ο οποίος ισχυρίστηκε ότι η γυναίκα του εμφάνισε καρκίνο στον εγκέφαλο εξαιτίας του κινητού που της αγόρασε. Από τότε, τα κινητά κατηγορήθηκαν ότι προκαλούν μια σειρά από διαταραχές μεταξύ των οποίων, πονοκέφαλοι, μεταβολές στην αισθητικότητα του δέρματος της κεφαλής, στην ορμονική έκκριση και στον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται τα ακουστικά ερεθίσματα.

Σήμερα και σύμφωνα με τα συμπεράσματα και των δυο ερευνών, δεν βρέθηκε κανενός είδους συσχέτιση ανάμεσα στην χρήση των κινητών τηλεφώνων και στην ανάπτυξη εγκεφαλικών όγκων.

Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν ασθενείς με όγκο στον εγκέφαλο και δεν προέκυψε ότι χρησιμοποιούσαν περισσότερο τα κινητά τους τηλέφωνα. Επίσης, τα άτομα που έκαναν εκτεταμένη χρήση κινητών, δεν βρέθηκε να παρουσιάζουν αυξημένη επίπτωση εγκεφαλικών όγκων, ούτε οι όγκοι είχαν την τάση να εμφανίζονται πιο συχνά από την πλευρά χρησιμοποίησης του κινητού. Αυτά τα αποτελέσματα δεν εξέπληξαν αρκετούς επιστήμονες που ασχολούνται χρόνια με το θέμα: Η δρ. Ελεανόρ Ανταίρ, η οποία εργάζεται ως ειδικός επιστήμονας στη βάση της αμερικάνικης αεροπορίας στο Σαν Αντόνιο, δήλωσε ότι μακροχρόνια πειράματα έδειξαν ότι τα μικροκύματα που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση σημάτων από τα κινητά δεν προκαλούν κυτταρική καταστροφή. Χαρακτηριστικά, ο δρ. Robert Park, του πανεπιστημίου του Μέριλαντ τόνισε, ότι η ακτινοβολία που λαμβάνει κάποιος ο οποίος ασκείται χωρίς καπέλο μια ζεστή, ηλιόλουστη καλοκαιρινή ημέρα, είναι πάρα πολλές φορές μεγαλύτερη από αυτήν που λαμβάνει με το κινητό τηλέφωνο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα θεωρούνται καθησυχαστικά, αν και σύμφωνα με τους επιστήμονες το χρονικό διάστημα χρησιμοποίησης των κινητών τηλεφώνων είναι πολύ μικρό και χρειάζεται πιο μακροχρόνια παρακολούθηση, για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΝΟΧΟΠΟΙΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ

ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΒΛΑΠΤΟΥΝ ΣΟΒΑΡΑ ΤΗ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ (Δημοσίευση: 19/07/2004)

Οι έρευνες στον τομέα της αναπαραγωγικής διαδικασίας των ανδρών, οι οποίοι συνήθως μεταφέρουν κινητά τηλέφωνα στη ζώνη τους, καταδεικνύουν ότι η ποσότητα του σπέρματος επηρεάζεται αρνητικά κατά 30% και μειώνονται οι πιθανότητες αναπαραγωγής. Η μελέτη της ομάδος μαιευτικής και γυναικολογίας του πανεπιστημίου Στζεγκέντ της Ουγγαρίας με επικεφαλής το δόκτορα Ιμρ Φέτζες θα παρουσιασθεί αύριο στο ειδικό συνέδριο για τη γονιμότητα στο Βερολίνο. Οι ερευνητές μελέτησαν 221 άνδρες επί 13 συνεχόμενους μήνες και συνέκριναν το σπέρμα αυτών που χρησιμοποιούν και αυτών που δεν χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο. Οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι χρήστες κινητού τηλεφώνου και ιδιαίτερα αυτοί που τοποθετούν το τηλέφωνο στη ζώνη τους ή στην τσέπη του παντελονιού τους παρουσιάζουν μείωση σπέρματος κατά 30%. Πολλά από τα σπερματοζωάρια που επιβιώνουν παρουσιάζουν ανωμαλίες στην κίνηση τους με συνέπεια στη συνέχεια να καθίστανται μη γόνιμα. Ενώ η έρευνα καταδεικνύει τις συνέπειες της χρήσης των κινητών στο σύστημα γονιμότητας των ανδρών οι επιστήμονες τονίζουν ότι απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για να καταγραφούν οι ουσιαστικές βλάβες και να αποδειχθεί πως επηρεάζει το κινητό τηλέφωνο το αναπαραγωγικό σύστημα των ανδρών.

"ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΤΕ" ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΣΑΣ (Δημοσίευση: 10/02/2003)

Τα κινητά τηλέφωνα καταστρέφουν τα εγκεφαλικά κύτταρα, ενώ υπάρχει πιθανότητα να προκαλούν πρόωμη εκδήλωση ακόμη και της νόσου Αλτσχάιμερ, σύμφωνα με Σουηδούς ερευνητές. Συγκεκριμένα, ομάδα επιστημόνων από το Πανεπιστήμιο Lund της Σουηδίας υποστηρίζει πως η ακτινοβολία που

εκπέμπουν τα κινητά τηλέφωνα καταστρέφει κύτταρα σε περιοχές του εγκεφάλου που έχουν σχέση με τη μάθηση, τη μνήμη και την κίνηση.

Οι επιστήμονες μελέτησαν την επίδραση της ακτινοβολίας στον εγκέφαλο πειραματόζωων, τα οποία εκτίθεντο στην ακτινοβολία καθημερινά επί δύο ώρες. Μετά από 50 ημέρες, οι ερευνητές ανίχνευσαν τους εγκεφάλους των πειραματόζωων με ένα ειδικό μικροσκόπιο και ανακάλυψαν ότι εκείνα που είχαν εκτεθεί σε μέτρια ή υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας διέθεταν μεγάλο αριθμό νεκρών εγκεφαλικών κυττάρων. "Τα αποτελέσματα θα πρέπει να είναι ανάλογα και στον άνθρωπο, αφού η εγκεφαλική δομή των πειραματόζωων είναι σχεδόν παρόμοια με εκείνη του ανθρώπου", επεσήμανε ο επικεφαλής της ερευνητικής ομάδας Δρ Λέιφ Σάλφορντ. Σύμφωνα μάλιστα με τον ίδιο, τα κινητά τηλέφωνα ενδέχεται να προκαλούν ακόμη και πρόωμη εκδήλωση της νόσου Αλτσχάιμερ, αλλά πρέπει να γίνουν μελέτες για να καταλήξουν σε ασφαλές συμπέρασμα.

ΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΟΥ ΚΡΥΒΟΥΝ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ (Δημοσίευση: 23/12/2002)

Νεαρός αναγνώστης με ρώτησε αν υπάρχει κίνδυνος από τη χρήση του κινητού. Η απάντηση είναι ναι, όταν τηλεφωνεί και οδηγεί ταυτόχρονα. Τα τροχαία στην πατρίδα μας είναι η πρώτη αιτία θανάτου στις νεαρές ηλικίες. Από έρευνες είναι γνωστό ότι όσοι τηλεφωνούν και οδηγούν έχουν 4 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα να γίνουν αίτιοι τροχαίου. Η πιθανότητα αυτή δεν μειώνεται όταν οδηγός χρησιμοποιεί κινητό "hands free", δηλ. δεν χρειάζεται να κρατά το κινητό στο χέρι. Τα ατυχήματα οφείλονται στη διάσπαση της προσοχής ή στον εκνευρισμό του οδηγού και λιγότερο στο ότι κρατάει το κινητό. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις όπου μεθυσμένος οδηγός μιλούσε στο κινητό.

Παλαιότερα ανησυχίες προέκυπταν από την πιθανότητα πρόκλησης όγκου στον εγκέφαλο, λόγω της ακτινοβολίας που το κινητό εκπέμπει. Και αυτή η ακτινοβολία, σε μεγάλες ποσότητες, είναι πιθανώς καρκινογόνος. Παρόλα αυτά, ο θεωρητικός αυτός κίνδυνος δεν επιβεβαιώθηκε. Επίσης, οι νέες γενιές κινητών εκπέμπουν λιγότερη ακτινοβολία.

Ένας άλλος θεωρητικός κίνδυνος προκύπτει αν κάποιος μιλά στο κινητό πολλή ώρα μέσα στο αυτοκίνητο, επειδή η ακτινοβολία του κινητού δεν διαχέεται λόγω του σιδερένιου αμαξώματος. Κίνδυνος υπάρχει όταν κάποιος καρδιοπαθής μιλά στο κινητό και έχει βηματοδότη.

ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ (Δημοσίευση: 09/09/2002)

Μια συνομιλία 20 λεπτών της ώρας με το κινητό έχει την ίδια επίπτωση στον εγκέφαλο που έχει και η ύπνωση, σύμφωνα με Αυστραλούς ερευνητές. Η δε επιβάρυνση στον εγκέφαλο όταν μιλάει κάποιος στο κινητό και οδηγεί είναι πολύ σοβαρή αφού η προσήλωσή ελαττώνεται από τη ραδιενέργεια και είναι σαν να έχει πάθει κάποια ελαφρά βλάβη ο εγκέφαλος. Με την εν λόγω έρευνα εξηγείται γιατί ορισμένα άτομα υποφέρουν από πονοκεφάλους και αισθάνονται κόπωση μετά τη χρήση του κινητού.

ΚΙΝΗΤΟ, ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ ΚΑΙ ΟΘΟΝΗ Η/Υ ΒΛΑΠΤΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΔΡΙΚΗ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ (Δημοσίευση: 14/06/2002)

Εχθροί της ανδρικής γονιμότητας φαίνεται να είναι η τηλεόραση, τα κινητά τηλέφωνα και οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, σύμφωνα με μελέτες, οι οποίες δείχνουν ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη γονιμότητα, πενταπλασιάζοντας το ρυθμό φθοράς των σπερματικών κυττάρων.

Τον κώδωνα του κινδύνου έκρουσαν σε συνέντευξη τύπου, που έδωσαν οι διοργανωτές του 2ου Διεθνούς Συνεδρίου Χειρουργικής Ανδρολογίας και Γεννητικών Οργάνων, το οποίο πραγματοποιείται στη Μύκονο από τις 14 έως τις 16 Ιουνίου.

Οι επιστήμονες υπογράμμισαν ότι στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα 300.000 υπογόνιμα ζευγάρια, τα οποία δεν μπορούν να αποκτήσουν παιδιά λόγω προβλημάτων γονιμότητας, ενώ 400.000 άνδρες έχουν στυτική δυσλειτουργία από παθολογικά αίτια.

Σύμφωνα με τους επιστήμονες, η ερωτική ζωή των Ελλήνων σκιάζεται από σύννεφα, καθώς μία στις τέσσερις γυναίκες και ένας στους δέκα άνδρες δεν είναι ικανοποιημένοι με την εξωτερική τους εμφάνιση, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά και η σεξουαλικότητά τους.

ΠΙΟ ΕΥΑΛΩΤΑ ΤΑ ΠΑΙΔΙΑ ΣΤΑ ΚΙΝΗΤΑ (Δημοσίευση: 12/02/2002)

Ελάχιστα λεπτά συνομιλίας ενός παιδιού από κινητό τηλέφωνο μειώνουν τις εγκεφαλικές του λειτουργίες για σχεδόν μια ώρα, σύμφωνα με αποτελέσματα νέας ισπανικής μελέτης, τα οποία επιβεβαιώνουν και ερευνητές στη Βρετανία, μετέδωσαν τα νορβηγικά μέσα ενημέρωσης. Η μελέτη βασίστηκε σε δοκιμές που έκανε ο γερμανός ερευνητής Μίχαελ Κλιάισεν στο Νευροδιαγνωστικό Ερευνητικό Κέντρο στη Μαρμπέλα της Ισπανίας και είναι η πρώτη που δείχνει πώς αντιδρά ο εγκέφαλος ενός παιδιού στη χρήση κινητού τηλεφώνου.

Με τη βοήθεια ενός σπινθηρογράφου, ο Κλιάισεν μπόρεσε να δημιουργήσει εικόνες για το πώς οι εγκέφαλοι ενός 11χρονου αγοριού και ενός 13χρονου κοριτσιού αντέδρασαν στη χρήση κινητού τηλεφώνου. Οι δοκιμές έδειξαν ότι η δραστηριότητα του εγκεφάλου των παιδιών μειώθηκε σημαντικά, κυρίως στην πλευρά που χρησιμοποιήθηκε το κινητό τηλέφωνο, ελάχιστα λεπτά από την ώρα που άρχισε η συνομιλία. Επίσης η δραστηριότητα του εγκεφάλου περιορίστηκε κάτω του φυσιολογικού ορίου σε μεγάλα τμήματά του για 50 λεπτά μετά το τέλος της κλήσης. "Η συμβουλή μου προς όλους τους γονείς είναι μην επιτρέπουν στα παιδιά τους να χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο. Δεν πλήττεται μόνο η ηλεκτρική δραστηριότητα αλλά και οι βιοχημικές διαδικασίες. Δεν γνωρίζουμε αν είναι επικίνδυνο, αυτό που γνωρίζουμε, όμως, είναι ότι ο εγκέφαλος ενός παιδιού, που δεν έχει πλήρως αναπτυχθεί, είναι πιο ευάλωτος από τον εγκέφαλο ενός ενήλικα", τόνισε ο γερμανός ερευνητής, όπως γράφει η εφημερίδα "Αφτενποστεν".

ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΒΛΑΨΟΥΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ (Δημοσίευση: 21/09/2001)

Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να προξενήσουν ζημιά στην υγεία μέσω της επιτάχυνσης του χρόνου που αποκρίνεται ο εγκέφαλος, είπε ένας Βρετανός επιστήμονας σε μια συνέντευξη.

Καθώς οι καταναλωτές ανησυχούν λόγω του ότι η παρατεταμένη τηλεφωνική χρήση των κινητών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε προβλήματα που κυμαίνονται από τους πονοκέφαλους έως τους όγκους, μια πρόσφατη μελέτη εμφανίζει ανησυχητικό ποσοστό καρκίνου του εγκεφάλου σε μερικούς χρήστες της κινητής, που βοηθά την ταλαντευόμενη επιστημονική άποψη στη Μεγάλη Βρετανία.

Ο Δρ. Alan Preece, προϊστάμενος της βιοφυσικής στο κέντρο ογκολογίας του Bristol, είναι μεταξύ μιας ομάδας επιστημόνων, που όλο ένα και περισσότερο πείθονται ότι η ακτινοβολία από τα κινητά, προκαλεί χημικές διαδικασίες στο σώμα που μπορεί να είναι επιβλαβείς. Έξι χωριστές μελέτες τώρα δείχνουν ότι οι χρόνοι απόκρισης επιταχύνονται όταν εκτίθενται οι άνθρωποι στα σήματα της ραδιοσυχνότητας από τα κινητά τηλέφωνα.

Ίσως πρέπει τώρα να αποδεχθούμε ότι υπάρχει μια επίδραση στον εγκέφαλο, "είπε ο Preece σε μια διάσκεψη του Λονδίνου για τους κινδύνους της υγείας λόγω των κινητών τηλεφώνων. Ο χρόνος απόκρισης έχει βελτιωθεί λόγω των πρωτεϊνών που δημιουργεί το stress, οι οποίες εκδηλώνονται λόγω ενός γονιδίου. Αυτό το φαινόμενο χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Η χρόνια έκθεση σε σήματα ραδιοσυχνότητας μπορεί να έχει μια καταστρεπτική επίδραση στην υγεία.

Η πρωτεΐνη του stress παράγεται όταν η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, αλλά ο Preece και άλλοι επιστήμονες, λένε πως αυτές μπορούν επίσης να εμφανιστούν ξεκάθαρα, ως ένα αποτέλεσμα των ραδιοσυχνοτήτων, παρόλο που η θερμοκρασία του σώματος είναι κανονική.

Άλλη έρευνα από τη Σουηδία και την Ελβετία έχει δείξει ότι η ακτινοβολία από τα κινητά τηλεφωνήματα ενοχλεί τον ύπνο.

Σε μια μελέτη ανέκδοτη ακόμη στην επιστημονική κοινότητα, οι σουηδοί καθηγητές Lennart Hardell και Kjell Hansson Mild διαπίστωσαν ότι οι άνθρωποι που είχαν χρησιμοποιήσει τα αναλογικά κινητά τηλέφωνα μέχρι και 10 έτη, είχαν ένα 26 τοις εκατό υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου στον εγκέφαλο, από ένα δείγμα ελέγχου. Η μελέτη έχει αναστατώσει πολλούς επιστήμονες ακόμα κι αν είναι βασισμένη κατά ένα μεγάλο μέρος στην προηγούμενη γενεά των κινητών τηλεφώνων, πολλά από τα οποία εγκαταστάθηκαν στα αυτοκίνητα με τις κεραίες στην οροφή, και που εξέπεμπαν τα σήματα συνεχώς, αντίθετα από τα πιο πρόσφατα, ψηφιακά τηλέφωνα.

"Δεν μπορεί πλέον να λείει κανείς, πως δεν υπάρχει καμία σύνδεση (μεταξύ της χρήσης κινητών και των επιπτώσεων στην υγεία), "είπε ο Preece.

"Χωρίς καμία ερώτηση υπάρχει μια βιολογική απειλή," συμφώνησε ο James Lin, καθηγητής της βιομηχανικής και της ηλεκτρικής εφαρμοσμένης μηχανικής στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις. "Η ερώτηση που μπαίνει είναι, πόσο επικίνδυνη είναι η χρήση της κινητής τηλεφωνίας."

Αλλά ο Lin είπε πως υπήρξαν σχεδόν πολλές μελέτες που ισχυρίζονται να δείχνουν ένα βιολογικό αντίκτυπο από την χρήση της κινητής τηλεφωνίας μέχρι μελέτες που έδειξαν το αντίθετο: "Η κατανόηση μας εξελίσσεται ακόμα. Πρέπει να έχουμε πολύ μεγαλύτερη βάση δεδομένων από γεγονότα." Σημείωσε ότι παίρνει σχεδόν μια δεκαετία για να αναπτυχθούν οι περισσότεροι καρκίνοι του εγκεφάλου, περισσότερο και από την περίοδο χρήσης που καλύπτεται από τις περισσότερες μελέτες.

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) είπε την προηγούμενη εβδομάδα ότι απαιτείται περισσότερη έρευνα, προτού να αποκλειστεί η ζημία στην υγεία.

Εντούτοις, η Elisabeth Cardis, προϊστάμενη της Ακτινοβολίας και του Καρκίνου, στο τμήμα για την έρευνα του καρκίνου της WHO, είτε σε μια διάσκεψη στη Φινλανδία, ότι οποιοσδήποτε πιθανός κίνδυνος είναι μικρός.

Πέρυσι, μια επιστημονική έρευνα χρηματοδοτούμενη από την Βρετανική κυβέρνηση, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ενώ δεν υπήρχε κανένα στοιχείο για κίνδυνο στην υγεία, θα ήταν σοφό να αποθαρρυνθούν τα παιδιά από τη χρησιμοποίηση των κινητών τηλεφώνων, επειδή είναι πιο ευαίσθητα στην ακτινοβολία.

Ένας επιστήμονας μάλιστα της τελευταίας επιτροπής, ο Χάιλαντ, τονίζει πως η ακτινοβολία, αποδεδειγμένα, επηρεάζει τους βιολογικούς ρυθμούς του εγκεφάλου και τα παιδιά είναι πιο ευάλωτα στην επίδρασή της. Η επίδραση αυτή μπορεί να νοηθεί ως ένα είδος παρεμβολής όπως εκείνη που συμβαίνει στα κύματα του ραδιοφώνου και μπορεί να διαταράξει τη σταθερότητα των κυττάρων. Τα πιο σημαντικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν είναι νευρολογικής φύσης, όπως απώλεια μνήμης, διαταραχές του ύπνου και πονοκέφαλοι.

Η άποψη του Χάιλαντ διακρίνεται, πάντως, από τη συνήθη άποψη ότι η ακτινοβολία των κινητών θερμαίνει τον εγκεφαλικό ιστό. Ο επιστήμονας ισχυρίζεται πως ο κίνδυνος τον οποίο περιγράφει προέρχεται από ακτινοβολία μικρής έντασης και όχι θερμική ακτινοβολία.

ΑΓΩΓΕΣ ΣΕ ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ (Δημοσίευση: 29/12/2000)

Μετά τις καπνοβιομηχανίες, ήρθε η σειρά των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας να αντιμετωπίσουν τον ελληνικής καταγωγής δικηγόρο κ. Πίτερ Άντζελος, στο δικηγορικό γραφείο του οποίου κατέφυγαν 10 άτομα που πάσχουν από καρκίνο του εγκεφάλου και οι οποίοι θεωρούν ως αιτία της πάθησής τους τα κινητά τηλέφωνα. Ο κ. Π. Άντζελος, είναι ο δικηγόρος, που πρόσφατα κατάφερε να κερδίσει αγωγή αποζημίωσης ύψους 4,2 δισεκατομμυρίων δολαρίων από γνωστές καπνοβιομηχανίες. Σχεδόν όλες οι αγωγές θα στρέφονται και κατά της Verizon Wireless, της μεγαλύτερης εταιρίας κινητής τηλεφωνίας των Ηνωμένων Πολιτειών.

Η είδηση αυτή αυξάνει την ανησυχία ανάμεσα στους χρήστες κινητών τηλεφώνων ότι η ακτινοβολία από τις συσκευές μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του εγκεφάλου, παρά το γεγονός ότι οι μέχρι τώρα ιατρικές έρευνες δεν έχουν αποδείξει κάτι τέτοιο. Η βρετανική εταιρία Vodafone Group PLC, στην οποία ανήκει το 45% της Verizon, ανακοίνωσε πως έρευνα που χρηματοδότησε η βρετανική κυβέρνηση 'απαλλάσσει' τα κινητά τηλέφωνα από κάθε τέτοια κατηγορία. Πρόσφατη είναι επίσης και η έρευνα που δημοσιεύθηκε στην 'Ιατρική επιθεώρηση της Νέας Αγγλίας' και έγινε από το Αμερικανικό Αντικαρκινικό Ινστιτούτο, η οποία δεν βρήκε σχέση μεταξύ του καρκίνου του εγκεφάλου και της χρήσης των κινητών.

Οι αμερικανοί δικηγόροι ελπίζουν ότι το δικαστήριο μπορεί να τους επιτρέψει να αποκτήσουν πρόσβαση σε έγγραφα των εταιριών κινητής τηλεφωνίας και να ανακαλύψουν σε αυτά στοιχεία που να επιβεβαιώνουν ότι οι κατασκευαστές γνώριζαν τον κίνδυνο. 'Αν οι εταιρίες γνώριζαν τους κινδύνους από την ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων θα πρέπει να τιμωρηθούν αυστηρά, όχι μόνο γι' αυτό που έκαναν στον κόσμο, αλλά και για τα τεράστια κέρδη που αποκόμισαν', υπογράμμισε ο Τζον Πίκα,

δικηγόρος στο γραφείο του Άντζελος. Η δικηγορική εταιρία, που έχει έδρα το Λος Άντζελες, σκοπεύει να καταθέσει τις δύο πρώτες αγωγές πριν από το Μάρτιο και τις υπόλοιπες μέσα σε ένα χρόνο και προσθέτουν ότι οι αγωγές θα κατατεθούν κατ'αρχάς στην Καλιφόρνια, το Κεντάκι και το Μέριλαντ.

ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΝΕΡΓΕΙΕΣ; (δημοσίευση: 01/07/2000)

Χρήστες κινητών τηλεφώνων διαμαρτύρονται συχνά για πονοκεφάλους, υπερθέρμανση του αυτιού και αίσθημα καυσαλγίας στο δέρμα του προσώπου, σύμφωνα με τους επιστήμονες. Ο Dr. Gunnhild Oftedal, του Νορβηγικού Πανεπιστημίου Επιστήμης κα Τεχνολογίας στο Trondheim και οι συνεργάτες του έστειλαν ένα ερωτηματολόγιο σε 12000 χρήστες κινητών στην Σουηδία και 5000 χρήστες στην Νορβηγία. Ένα ποσοστό περίπου 17% των ερωτηθέντων παρουσίαζε τα προαναφερθέντα συμπτώματα.

Σημαντικό παράγοντα για την εκδήλωση των συμπτωμάτων έπαιξε η διάρκεια των τηλεφωνημάτων. Όσο περισσότερη ώρα γινόταν χρήση τόσο πιθανότερη ήταν η εκδήλωση των συμπτωμάτων. Οι περισσότεροι από τους ερωτηθέντες δεν είχαν επισκεφθεί γιατρό για τα συμπτώματα τους. Η πιο συχνή μέθοδος αντιμετώπισης των συμπτωμάτων ήταν η μείωση των τηλεφώνων και η χρήση συσκευών 'hands free'.

Οι ερευνητές τέλος σχολιάζουν ότι τα προβλήματα υγείας που κατέγραψαν δεν είναι απαραίτητο να συνδέονται αιτιολογικά με αυτά καθαυτά τα κινητά τηλέφωνα [11].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο βαθμός επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας δεν έχει μέχρι στιγμής βρεθεί από την επιστήμη. Αυτό το βλέπουμε στις διαφορές που έχουν μεταξύ τους οι επιστήμονες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα, οι οποίοι έχουν χωριστεί σε δυο ομάδες. Η μια υποστηρίζει ότι ο κίνδυνος που διατρέχουμε εξαιτίας της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας είναι αμελητέος έως ανύπαρκτος, ενώ η άλλη υποστηρίζει και μάλιστα πολύ θερμά το αντίθετο. Βέβαια, η αλήθεια είναι μία και πρέπει να αποκαλυφθεί το συντομότερο δυνατόν, αφού η Η/Μ ακτινοβολία είναι κάτι στο οποίο είμαστε αναγκασμένοι να εκτιθέμεθα καθημερινά. Ευτυχώς, φαίνεται ότι το θέμα έχει αρχίσει να απασχολεί μια ήδη μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη μερίδα ανθρώπων, με αποτέλεσμα οι μελέτες να γίνονται πιο εντατικές. Παρότι ο βαθμός επικινδυνότητας, όπως είπαμε παραπάνω, δεν έχει προσδιοριστεί επακριβώς, εντούτοις πιστεύουμε ότι η συνετή αντιμετώπιση του προβλήματος θα ήταν πολύ λογική, έτσι ώστε να αποφύγουμε τυχόν δυσάρεστες συνέπειες στο μέλλον.

Λέγοντας ‘συνετή αντιμετώπιση’ εννοούμε από μέρους των πολιτών, αλλά και από μέρους των διάφορων κρατών και εταιριών παγκοσμίως. Τα κράτη και οι διάφορες εταιρίες που η δραστηριότητά τους είναι σχετική με το θέμα (ΔΕΗ, εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, εταιρίες κατασκευής ηλεκτρονικών συσκευών, κλπ) θα πρέπει να μελετούν επιμελέστερα οτιδήποτε σχέδια έχουν να κάνουν με εγκαταστάσεις επιβαρυντικές προς το περιβάλλον και κατά συνέπεια προς τους ίδιους τους ανθρώπους. Θα πρέπει επίσης να μελετήσουν τρόπους μείωσης της εκπομπής Η/Μ ακτινοβολίας αυτών των εγκαταστάσεων (υποσταθμοί ενέργειας, καλώδια υψηλής τάσης κ.α.) ή συσκευών (κινητά τηλέφωνα, Η/Υ, τηλεοράσεις κ.α.) στο ελάχιστο.

Επιπλέον η πολιτεία, οι διεθνείς οργανισμοί θα πρέπει με τις ενέργειες τους να υποστηρίζουν και να ενισχύσουν την επιστημονική έρευνα γύρω από το θέμα, όπως επίσης και να εγγυηθούν την ανεξαρτησία της καθώς και την αντικειμενικότητα των επιτροπών που συγκροτούν για την μελέτη του προβλήματος. Όσον αφορά τους απλούς ανθρώπους, θα πρέπει να αρχίσουν να χρησιμοποιούν προσεκτικότερα τις διάφορες οικιακές συσκευές και ειδικότερα εκείνες που θεωρούνται πιο ‘επικίνδυνες’ ως προς αυτόν τον τομέα. Συχνά, όμως, κάτι τέτοιο αντιβαίνει στις καταναλωτικές αντιλήψεις και συμπεριφορές μας. Σημαντικός πιστεύουμε ότι είναι σε αυτό το σημείο ο ρόλος των ΜΜΕ. Μέχρι στιγμής η έντυπη δημοσιογραφία κυρίως, έχει να επιδείξει πολλά άρθρα σχετικά με την μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα περισσότερα από τα οποία αφορούν τα κινητά τηλέφωνα και τους πυλώνες της Δ.Ε.Η. ο ρόλος των ΜΜΕ είναι σημαντικός αφού αποτελούν τον κυριότερο δρόμο για την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών. Ωστόσο μερικές φορές φαίνεται τα ΜΜΕ να κάνουν τα πάντα για να τραβήξουν το ενδιαφέρον και να κερδίσουν ένα ευκολόπιστο κοινό, προσφέροντας ειδήσεις πρωτότυπες και όσο γίνεται περισσότερο ανησυχητικές και τραγικές. Τις περισσότερες φορές αυτές οι ειδήσεις είναι υπερβολικές ή ανακριβείς. Είναι κάτι ασφαλώς που ισχύει γενικά, αλλά και στο θέμα αυτό. Έτσι τα ΜΜΕ προσφέρουν εντυπωσιακές αναφορές, μερικές φορές ακόμα και για μεμονωμένα περιστατικά. Το κοινό δεν μπορεί να ξέρει από πριν τι είναι

σωστό και τι φαίνεται σωστό. Η κατάσταση αυτή μπορεί να γίνει εύκολα εκμεταλλεύσιμη από όσους δεν επιθυμούν να συνεχιστούν οι έρευνες γύρω από το θέμα.

Αυτό που πραγματικά πρέπει να γίνει από τα ΜΜΕ είναι από τη μια μεριά να δώσουν τη δυνατότητα στην επιστημονική κοινότητα να διατυπώσει τεκμηριωμένα τις απόψεις της, συχνά διαφορετικές και από την άλλη μεριά να βοηθήσουν στην ενημέρωση των πολιτών ώστε να γίνουν γνώστες των πηγών εκπομπής της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και να είναι σε θέση να λάβουν όλα τα επιβαλλόμενα μέτρα χωρίς υπερβολές. Επίσης τα ΜΜΕ οφείλουν να ενημερώνουν ταχύτατα το κοινό για κάθε πληροφορία και εξέλιξη, που θα είναι ωστόσο εξακριβωμένη και θα έχει επιστημονική εγκυρότητα.

Τέλος σημαντική μπορεί να αποδειχθεί και η δική μας συμβολή λαμβάνοντας κάποια προληπτικά μέτρα,όπως:

- Να χρησιμοποιούμε λογικά το κινητό και να περιορίσουμε τις κλήσεις μας μόνο στις απολύτως απαραίτητες.
- Να το κρατάμε πάντα με το δεξί χέρι και μακριά από τη θέση της καρδιάς.
- Να βάζουμε το κινητό μόνο στις δεξιές τσέπες. Η πιο ασφαλής θέση για να το έχουμε είναι στη ζώνη του παντελονιού και από τη δεξιά πλευρά και οι κυρίες μέσα στην τσάντα.
- Να εξετάζουμε τις σχετικές τιμές του SAR κατά την αγορά ενός νέου τηλεφώνου.
- Να αποφεύγουμε την χρήση του κινητού κατά την οδήγηση, διότι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εγκλωβίζεται μέσα στο όχημα και βέβαια είναι πιθανόν να προκαλέσουμε κάποιο ατύχημα λόγω έλλειψης αυτοσυγκέντρωσης.
- Να αποφεύγουν τα παιδιά να χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα επειδή είναι πολύ πιο ευάλωτα στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.

Το κινητό είναι πια μόνιμο αξεσουάρ και ο ομφάλιος λώρος μας με τον κόσμο που ζούμε. Και όπως όλα σ αυτό τον κόσμο είναι θέμα χειρισμών, έτσι είναι και η σχέση που θα αποκτήσουμε μαζί του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K.R. Foster and J.E. Moulder, "Are mobile phones safe?", IEEE Spectrum On line, Vol. 37, No 8, August 2000.
- [2] T.S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practices", Prentice Hall PTR, 1996.
- [3] W. Webb, "Understanding Cellular Radio", Artech House Inc., 1998.
- [4] <http://www.eie.gr/ex3/dia/sym/benetos/main.htm>
- [5] Κ.Θ. Λιολιούση, Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, εκδ. Δίαυλος, Αθήνα 1997.
- [6] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Περιοδικό "Τεχνικά Χρονικά", τεύχος 1/95.
- [7] Πρακτικά ημερίδας ΤΕΕ με θέμα: "Επίδραση στον οργανισμό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την κινητή τηλεφωνία", Αθήνα, Μάρτιος 1995 και συγκεκριμένα:
Μ.Γ. Βελονάκη, "Η αξιολόγηση επιδημιολογικών ερευνών με αντικείμενο την επίδραση μη ιονιζουσών ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών στην υγεία"
Ν.Ουζούνου και Κ.Νικήτα, "Επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το φορητό τηλέφωνο στον άνθρωπο".
Σ.Κωτσόπουλος και Ι.Κάτσης, "Η εξέλιξη των συστημάτων της κυτταρικής κινητής τηλεφωνίας και οι πιθανοί κίνδυνοι από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της ζώνης λειτουργίας τους".
Ι.Ζάννος, "Επίδραση των ραδιοκυμάτων στην υγεία μας".
Χ.Καψάλης και Δ.Πολυδώρου, "Μετρήσεις και αξιολόγηση της πυκνότητας ισχύος σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας στην Αττική".
- [8] Εφημερίδες:
ΤΟ ΒΗΜΑ, 25/1/98
ΤΑ ΝΕΑ, 24/3/98
ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ, 28/3/98
- [9] <http://www.geitonas-school.gr/projects/aktinovolia/index.htm>
- [10] J.E. Moulder, L.S. Erdreich, R.S. Malyapa, J.Merritt, W.F. Pickard, Vijayalaxmi, "Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection?", Radiation Research, 151, 513-531, 1999.
- [11] Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο:
<http://www.in.gr>
<http://www.e-go.gr>
<http://www.flash.gr>